

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# **NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY A VÝROBNÍ LINKY PRO VÝROBU PÍSTŮ**

**A LAY-OUT OF PRODUCTION TECHNOLOGY AND PRODUCTION LINE FOR  
MANUFACTURING OF PISTONS**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. MICHAL VILHELM**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.**

## ZADÁNÍ - NETISKNOUT

**ABSTRAKT**

Diplomová práce pojednává o komplexní technologické přípravě výroby pístů, tj. technologické přípravě a technologické části projektové přípravy. Obsahem technologické přípravy výroby je určení počtu a pořadí technologických operací, kontrolních plánů, výběr vhodných výrobních strojů s využitím progresivních metod výroby, návrh nástrojů a přípravků pro upínání pístů a volba řezných podmínek pro jednotlivé úseky obrábění. Technologická část projektové přípravy výroby určuje vztahy mezi jednotlivými prvky výrobního systému, tj. prostorových a časových nároků pracovních, technologických, manipulačních, kontrolních a dalších činností s maximálním využitím automatizace pro zvýšení produktivity práce a ekonomické efektivity výrobního procesu. Cílem je návrh optimální technologie výroby pístů pro dosažení maximální produktivity a hospodárnosti výroby.

**Klíčová slova**

Výrobní systémy, technologie, výrobní postupy, stroje a nástroje

**ABSTRACT**

This final thessis deals with the complex technological preparation of pistons manufacture, ie, technological preparation and technological part of project preparation. The content of production technological preparation is to determine the number and sequence of technological operations, control plans, selection of appropriate production machines using progressive production methods, design tools and jigs for clamping pistons and the choice of cutting conditions for machining individual operations. Technological preparation of production specify the relationships between individual elements of the manufacturing system, ie the spatial machines distribution and operation times requirements, technology, handling, control, and other activities with maximum use of automation to increase productivity and economic efficiency of production process. The aim is to design an optimal piston technology for maximum productivity and production frugality.

**Key words**

Production systems, technology, production procedure, machines and tools.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VILHELM, M. *Návrh technologie výroby a výrobní linky pro výrobu pístu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 104 s., 1 příloha. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Návrh technologie výroby a výrobní linky pro výrobu pístů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 25.5.2012

.....

Bc. Michal Vilhelm

**Poděkování**

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

**OBSAH**

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah .....	7
Úvod.....	9
1. Představení firmy KS Kolbenschmidt czech republic a.s. ....	10
2. Materiály pro výrobu pístů .....	11
2.1 Slévárenské slitiny hliníku.....	11
2.1.1 Slitiny Al-Si-Cu.....	11
3. Obrábění slitin hliníku .....	13
3.1 Chlazení a mazání při obrábění hliníkových slitin .....	14
3.1.1 Ekologické trendy při používání řezných kapalin.....	15
3.2 Obrobitelnost hliníkových slitin.....	17
3.3 Nástrojové úhly pro obrábění hliníkových slitin .....	21
3.4 Nástrojové materiály pro obrábění slitin hliníku.....	22
3.4.1 Slinuté karbidy.....	22
3.4.1.1 Povlakované slinuté karbidy.....	23
3.4.2 Diamant.....	24
4. Technologická příprava výroby .....	25
4.1 Metodika navrhování výrobních postupů.....	25
4.2 Podklady pro navrhování technologických postupů .....	26
4.3 Technologické základny .....	26
4.3.1 Zásady volby technologické základny.....	26
4.4 Vliv základních faktorů na přesnost výroby.....	27
4.5 Výpočty strojních časů pro vybrané technologie obrábění .....	28
4.5.1 Soustružení podélné válcové plochy .....	28
4.5.2 Soustružení čelní plochy s konstantní řeznou rychlostí.....	28
4.5.3 Čelní frézování .....	28
4.5.3.2 Čelní symetrické frézování načisto .....	29
4.5.4 Vrtání a vyvrtávání.....	29
5. Automatizované výrobní SOUSTaVY (AVS) .....	30
5.1 Vybrané typy automatizovaných výrobních soustav.....	31

5.2 Jednouúčelové obráběcí stroje .....	33
5.3 Automatická výměna nástrojů.....	34
5.4 Mezioperační doprava a manipulace .....	35
5.6 Aktivní kontrola, adaptivní řízení a technická diag. CNC strojů .....	37
5.7 Odvod třísek z pracovního prostoru stroje .....	39
6. návrh technologie výroby pístů .....	40
6.1 Požadavky společnosti Ford Motor Company .....	40
6.2 Kapacitní propočet výrobní linky .....	41
6.3 Analýza procesu výroby odlitku jakožto polotovaru pro linku.....	43
6.4 Popis funkčních ploch pístu .....	44
6.5 Návrh obráběcích strojů .....	45
6.5.1 Mazak INTEGREX 100-IV ST.....	45
6.5.2 Weisser VERTOR C.....	48
6.5.3 FBM 1 (Feinbohr machin) .....	50
6.6 Návrh manipulační techniky.....	52
6.6.1 Návrh dopravníku pro odlitky .....	52
6.6.2 Návrh průmyslového robota.....	53
6.7 Zkrácený technologický postup.....	55
6.8 Detailní rozpracování technologického postupu na úseky .....	56
6.8.1 Upnutí odlitku v operaci č. 10 .....	56
6.8.2 Upnutí pístu v operaci č. 20 .....	71
6.8.3 Upnutí pístu v operaci č. 30 .....	84
6.8.4 Upnutí pístu v operaci č. 40 .....	89
7. Návrh kontrolního měření pístů.....	92
7.1 Kontrolované parametry pístu.....	93
7.2 Navrhovaný kontrolní plán pro navrhovanou výrobní linku.....	93
7.3 Firma Otto Harrandt GmbH .....	94
8. Časová studie navrženého postupu.....	96
9. Náklady na pořízení výrobní linky .....	97
10. Závěr .....	99
Seznam použitých zdrojů .....	100
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	102
Seznam příloh .....	104



## ÚVOD

Konkurenceschopnost ve všech oborech lidské činnosti a především ve strojírenské výrobě vyžaduje neustálý a progresivní rozvoj jak vlastních výrobků, tak i prostředků a výrobních technologií. Neustále vyšší požadavky na výrobky vyvolávají nutnost inovace jak výrobků, tak i výrobní základny a výrobních procesů. Cílem inovace je především dosáhnout v daném časovém období s dostupnými prostředky co největších možných kladných efektů.

Projektování technologie výroby se stalo v každém strojírenském podniku předpokladem pro úspěšnou konkurenceschopnost vyráběného výrobku. Základem technologického projektování je nalezení optimálního směru výroby, což předpokládá a vyžaduje maximální součinnost konstruktéra a technologa.

Na přípravě a zpracování technologických projektů se ve výrobních společnostech podílejí oddělení technické přípravy výroby (TPV), která se dělí na konstrukční přípravu výroby, technologickou přípravu výroby a projektovou přípravu výroby. Technickou přípravu výroby je možno chápat jako souhrn činností a opatření technicko-organizačního charakteru, zaměřených na zpracování konstrukční, technologické a projektové dokumentace a dokumentace pro materiálně technické vybavení výrobního procesu. TPV je jedním z prvků systému výzkum – vývoj – příprava výroby – realizace [3].

Diplomová práce se zabývá návrhem technologie výroby pístů do vznětových motorů 1,5l GTDI automobilky Ford Motor Company a návrhem výrobní linky, na které se bude moct navrhovaná technologie uplatnit. Cílem této práce je navrhnout novou, progresivní technologii výroby pístů.

Na obr. 1 vidíme odlitek pístu a již opracovaný píst, který je předmětem této diplomové práce.



Obr. 1 Odlitek a opracovaný píst.

## 1. PŘEDSTAVENÍ FIRMY KS KOLBENSCHMIDT CZECH REPUBLIC a.s.

KS Kolbenschmidt Czech Republic, a. s. je významným výrobcem pístů pro zážehové a dieselové motory a kompresory. Historie firmy sahá až do počátků automobilového věku v roce 1916, kdy Walter Dick zakládá podnik na zpracování kovů. V roce 1933 začala výroba pístů pro motory automobilů ŠKODA a TATRA. V roce 1995 přebírá německý výrobce pístů Kolbenschmidt AG z Neckarsulmu většinu podniku Metal Ústí nad Labem, a.s. Dne 1.4.2007 proběhla změna názvu společnosti na KS Kolbenschmidt Czech Republic, a. s.

Výroba pístů zde probíhá ve třech výrobních halách. V jedné hale probíhá tavení ingotů ze slitiny hliníku, odlévání, tepelné zpracování, odstraňování náliťků a vtokové soustavy a apretace. V ostatních dvou halách jsou obráběcí linky, linky pro povrchovou úpravu pístů a pracoviště pro konečnou kontrolu a kompletaci pístů pístním čepem a pístními kroužky.

Podnik je součástí celosvětově činné společnosti Kolbenschmidt Pierburg AG, která patří do koncernu Rheinmetall AG. Ve více než 30 podnikových lokalitách v Evropě, Severní a Jižní Americe, Číně, Indii a Japonsku je zaměstnáno asi 11 000 pracovníků.

KS Kolbenschmidt Czech Republic, a. s., zásobuje mezinárodní výrobce jako například Volkswagen Group (Audi, Škoda Auto, Volkswagen), Ford, Daimler Chrysler, Volvo, Nissan, Fiat, Zetor, Wabco, MAN, Stihl, Husqvarna a vlastní veškeré potřebné certifikace (ISO/TS 16949:2009, ISO 9001:2008, ISO 14001), které jsou nezbytnou součástí činnosti v automobilovém průmyslu.



Obr. 1.1 KS Kolbenschmidt Czech Republic, a.s.

## 2. MATERIÁLY PRO VÝROBU PÍSTŮ

### 2.1 Slévárenské slitiny hliníku

Vlastnosti čistého hliníku jsou pro konstrukční účely nevyhovující. Proto se pro výrobu zásadně používají slitiny hliníku.

#### 2.1.1 Slitiny Al-Si-Cu

Tato skupina je nejvíce používaným typem slitin hliníku pro odlévání. Jedná se o podeutektické (výjimečně až eutektické) slitiny s obsahem 6 - 13 % Si a 1-5 % Cu. Tyto slitiny jsou vhodné pro výrobu složitých odlitků gravitačním odléváním do kovových forem a zejména pro lití pod tlakem. Tyto slitiny se používají mimo jiné pro odlévání pístů spalovacích motorů.

##### 2.1.1.1 Přísadové prvky ve slitinách Al-Si

**Křemík** ve slévárenských slitinách zužuje interval tuhnutí a zlepšuje téměř všechny slévárenské technologické vlastnosti. Slitiny s nižším obsahem křemíku (menší podíl eutektika) je vhodné očkovat, slitiny s velkým podílem eutektika modifikovat (obě metalurgické metody lze spolu kombinovat).

S rostoucím obsahem křemíku se mění následující vlastnosti slitin [1]:

- zvyšuje se zabíhavost;
- zmenšuje se součinitel stahování během tuhnutí a zejména sklon ke vzniku mikrostaženin;
- zlepšují se kluzné vlastnosti a odolnost proti otěru;
- zmenšuje se tepelná roztažnost;
- zvyšuje se korozní odolnost.

**Měď** se v siluminech objevuje do 5 %. Při tuhnutí měď značně rozšiřuje interval tuhnutí siluminů a tím může podporovat vznik ředin a trhlin za tepla. Měď v siluminech zvyšuje pevnost a tvrdost, snižuje tažnost a zhoršuje korozní odolnost. Významně zlepšuje obrobiteľnosť. Při obrábění vzniká krátká, snadno lámavá tříška, obráběný povrch je kvalitní a hladký.

**Hořčík** je ve slitinách Al-Si velmi důležitým prvkem, který umožňuje provádět vytvrzování za tepla. Přidává se v množství 0,3 - 0,7 %. V litém stavu má hořčík na pevnost jen malý vliv, snižuje však tažnost. V množství, které bývá do slitiny přidáváno, nemá hořčík praktický vliv na změnu slévárenských vlastností ani odolnost proti korozi. Ve vytvrzeném stavu je však obsah hořčíku významný – čím vyšší je obsah Mg, tím vyšších pevností se dosahuje.

Maximální rozpustnost **niklu** v hliníku při eutektické teplotě je pouze asi 0,05 % Ni. Slitiny s obsahem 1 - 2 % niklu si zachovávají dobré mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. Slitiny s niklem mají i poněkud menší součinitel teplotní roztažnosti. Z tohoto důvodu se používají zejména pro písty a hlavy válců motorů. Slévárenské vlastnosti se s obsahem niklu zhoršují [1].

Pro výrobu pístu pro automobilku Ford Motor Company se používá slitina hliníku AlSi12Cu4Ni2Mg

Chemické složení, mechanické a fyzikální vlastnosti výše uvedené slitiny hliníku jsou v tab. 2.1, technologické údaje v tab. 2.2 [1], [2].

Tab. 2.1 Chem. složení, mechanické a fyzikální vlastnosti použité slitiny hliníku [1], [2].

Chemické složení		Mechanické vl. (stav T6)		Fyzikální vlastnosti	
Prvek	Obsah [hm. %]	Vlastnost	Hodnota	Vlastnost	Hodnota
Si	12,5-13,3	$R_{p0,2}$	240 MPa	$\rho$	$2710 \text{ kg.m}^{-3}$
Fe	0,65	$R_m$	280 MPa	$C_p$	$960 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Cu	3,3-3,9	$A_{50}$	< 1%	$\alpha$	$20.10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Mn	0,1-0,35	HB	110 -140	$\lambda_t$	$130-160 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Mg	0,8-1,1				
Ni	1,75-2,25				
Zn	0,25				
Ti	$\leq 0,01$				
Ostatní (celkem)	0,25				
Al	Zbytek				

Tab. 2.2 Technologické údaje slitiny AlSi12Cu4Ni2Mg [1], [2].

Tepelné zpracování (T6)	Slévatelnost		Obrobitelnost
<b>Rozpouštěcí žihání</b>	Teploty tuhnutí	565-540°C	B - velmi dobrá, cca 9d
515–520°C, 8 h	Doporučené lící teploty	790-680°C	
ochlazení ve vodě 60–90°C			
<b>Umělé stárnutí</b>	Zabíhavost	A-Výborná	
170–175°C, 12–24 h	Odolnost proti trhlinám za tepla		
ochlazení na vzduchu			

### 3. OBRÁBĚNÍ SLITIN HLINÍKU

Slitiny hliníku patří, z běžně používaných kovů, mezi nejvíce obráběné materiály. Řezné síly jsou obecně nízké, a protože je hliník dobrý vodič tepla, a většina slitin hliníku se taví při teplotách mezi 500 a 600 °C, jsou teploty při obrábění a opotřebení nástroje rovněž nízké. Při obrábění s vhodnými řeznými podmínkami a nástroji, lze získat jemné povrchy již při soustružení, vrtání a frézování, čímž se minimalizuje nutnost broušení a leštění. Slitiny hliníku se obvykle obrábí s nástroji z HSS, diamantu a slinutých karbidů, nejsou doporučovány materiály z keramiky na bázi nitridu křemíku kvůli vysoké rozpustnosti křemíku v hliníku [4].

Inovační strategie v oblasti obrábění hliníkových slitin se vyznačují maximálními řeznými rychlostmi a posuvy s cílem získat co možná nejvyšší úběr kovu. Současně se upouští od masivního použití chladicího maziva, což představuje důležitý aspekt z hlediska dopadu na životní prostředí. Bezpečnost, ochrana a zvýšení produktivity jsou předpoklady pro příznivé postavení podniku na trhu a tím i konkurenceschopnosti. Zpracovatelské vlastnosti slitin hliníku přímo vybízí k zavádění moderních konceptů zpracování do praxe [5].



Obr. 3.1 Obrábění pláště pístu ze slitiny AlSi12CuMgNi.

### 3.1 Chlazení a mazání při obrábění hliníkových slitin

Mnoho řezných kapalin, které se úspěšně používají při obrábění železných materiálů, nejsou vhodné pro obrábění slitin hliníku, a to zejména ze tří důvodů.

Prvním důvodem je vznik tenkého povlaku oxidu hlinitého na právě obrobených plochách. Tento povlak oxidu způsobuje otěr a rychlejší opotřebení břitu řezného nástroje. Z tohoto důvodu některé řezné kapaliny obsahují přísady, které potlačují tvorbu oxidů hliníku.

Druhým důvodem je, že vybrané slitiny hliníku obsahují značné množství křemíku, který způsobuje, že mají tyto slitiny značný sklon k adhezi. To má za následek velký vývin tepla, což způsobuje mikrosvary a tvorbu nárůstku. Pokud řezná kapalina dodávaná do místa řezu není obohacena o vhodné vysokotlaké a mazací přísady, dochází opět ke značnému zkrácení životnosti břitu. Jako přísady se proto používají zpravidla estery vyšších mastných kyselin nebo syntetické estery na dosažení dostatečné mazivosti. Tyto látky jsou ovšem snadným cílem působení bakterií, hub a plísní z okolního prostředí. Každá formulace kapaliny určené pro obrábění hliníku a jeho slitin musí být proto obohacena o účinný biocid, který působí proti nežádoucí biologické aktivitě [4].

Třetím faktorem je, že hliník a jeho slitiny mají, mezi běžně používanými kovy, jeden z nejvyšších koeficientů tepelné roztažnosti. To má za následek, společně s relativně nízkou tvrdostí a velkou pružností, značné tepelné deformace obrobku. Proto je třeba volit řezné kapaliny, které jsou schopné vzniklé teplo rychle odvádět. Mezi další požadavky na řezné kapaliny patří například protikorozi vlastnosti, vhodné pH a odolnost vůči pění [4], [6].

Vodou mísitelné obráběcí kapaliny pro hliník mohou být rozděleny na dvě velké skupiny. Na dnes převažující mikroemulze se sníženým obsahem minerálního oleje a relativně vysokým obsahem syntetických esterů a na syntetické roztoky zcela bez minerálního oleje představující alternativní směr vývoje. Za nejvýkonnější produkty pro obrábění hliníku jsou považovány mikroemulze na bázi syntetických esterových olejů. Tyto produkty představují samostatnou skupinu, která vyniká možností extrémního prodloužení životnosti nástrojů. Úspory na nástrojích u nich běžně dosahují řádu desítek procent.

Současné syntetické obráběcí kapaliny bez obsahu minerálního oleje se uplatňují stále častěji v běžné praxi zejména v oblasti leteckého průmyslu. Obsahují vysoce výkonné polymerní přísady, které v mnoha případech svými vysokotlakými vlastnostmi převyšují klasické produkty [7].

### 3.1.1 Ekologické trendy při používání řezných kapalin

Tradiční procesní kapaliny na obrábění na bázi ropy s přísadami, je možné z ekologického hlediska hodnotit velmi kriticky. Zvláštní postavení zauímají emulze. Kromě základového oleje obsahují celou řadu přísad, včetně látek způsobujících zdravotní komplikace např. ekzémy. V protikladu s kapalinami, které se nemísí s vodou, se většinou musí v pravidelných intervalech vyměňovat. Značné množství kapalin se musí regenerovat a také likvidovat. Současná světová výroba je charakterizována silným mezinárodním ekologickým povědomím, požadavky na ekologii výroby, zpřísňujícími se předpisy a zákony. Pomocné technologické prostředky jsou používány u různých technologií. Z hlediska používaného objemu mají největší význam procesní kapaliny v technologii obrábění.

Zvláštní význam ve spojitosti s redukcí ekologicky nepříznivých pomocných prostředků ve strojírenské technologii má obrábění se sníženým množstvím řezné kapaliny. Značné množství kombinací „obrobek – výrobní metoda“ se nedá realizovat bez řezných kapalin. To platí především např. u slitin hliníku, ale také při frézování hliníkových slitin stopkovými frézami a při vrtání hlubokých děr [20].

Hlavní činitele ovlivňující kvalitu vodou ředitelných řezných kapalin [21]:

- **koncentrace řezných kapalin:** je nejdůležitější parametr, který vyjadřuje objemový poměr řezné kapaliny k technické vodě. Každý výrobce definuje nejvhodnější koncentraci pro různé druhy obrábění. Koncentrace se měří refraktometrem.
- **pH hodnota:** je druhým nejdůležitějším parametrem vodou ředitelných řezných kapalin. Měří se lakmusovými papírky, resp. digitálními pH metry. Její hodnota musí být vždy vyšší než 7,0.
- **bakterie:** jsou nejvýznamnějším činitelem, ovlivňující hlavně životnost vodou ředitelných řezných kapalin. Podstatou řešení tohoto problému je udržet množství bakterií v takovém množství, které nebude mít zásadní vliv na kvalitu řezné kapaliny. V praxi se přítomnost bakterií měří dip-slide testy.
- **plísňe:** oproti bakteriím je jejich výskyt ve vodou ředitelných řezných kapalin méně častý a je podmíněný vniknutím cizí, „aktivační“ látky (potraviny, nedopalky cigaret...) do řezné kapaliny. Jejich rozšíření se pozoruje přítomností shluků, resp. kaučukovito - houbových těles plavajících v kapalině. V praxi se přítomnost hub měří dip-slide testy.
- **tvrdost vody:** Tvrdost vody výrazně ovlivňuje kvalitu a tím i životnost řezných kapalin. Nejběžněji se tvrdost vody měří papírovými proužky, podobně jako hodnota pH.

Další z mnoha činitelů, který nepříznivě ovlivňuje kvalitu řezných kapalin je přítomnost cizích pevných a kapalných látek.

Nepříznivý vliv těchto látek je [21]:

- primární – dochází k zanášení chladicího systémů a k zhoršenému odvodu třísek.
- sekundární – tuhé látky mohou způsobit nárůst bakterií, resp. plísní a hub.

Jedním z výše uvedených problémů je znečišťování řezných kapalin cizími oleji. Hlavně jde o pronikání těchto látek z mazacích okruhů stroje, z hydrauliky, z převodovek a z kluzných vedení. Pronikání těchto látek do řezných kapalin ekologického typu způsobuje jejich znehodnocení z hlediska ekologického, z hlediska jejich účinku na proces obrábění, z hlediska snížení jejich trvanlivosti, zvýšení nákladů na jejich údržbu a likvidaci, a z hlediska zvýšení zdravotního rizika. Možnost, jak řešit tuto problematiku, poskytují tzv. multifunkční oleje, které plní funkci řezných kapalin, hydraulických olejů, převodových olejů a olejů pro mazání vodících ploch. Je ovšem velmi obtížné realizovat takový produkt, který by spojoval odlišné požadavky na řezné kapaliny, hydrauliku, převody a mazání vodících ploch. Proto je jedním z požadavků na obráběcí stroje minimalizace průniků jednotlivých kapalin.

Řezné kapaliny vytvářející méně emisí představují další oblast možné redukce nepříznivých ekologických důsledků řezných kapalin. Při použití řezných kapalin vznikají emise ve formě par a aerosolů. Aerosoly se tvoří při styku řezné kapaliny s rychle se otáčejícím obrobkem nebo nástrojem, při postřikání obrobku, nástroje nebo obráběcího stroje proudem řezné kapaliny nebo kondenzací odpařené kapaliny ve studeném vzduchu, resp. na studeném povrchu. Páry řezných kapalin vznikají při styku řezných kapalin s horkými plochami nástroje, obrobku nebo třísek. Trendem v obrábění jsou rostoucí řezné rychlosti a tudíž odpovídající vzrůst emisí. Byly proto vyvinuty nové produkty méně náchylné na jejich tvorbu. Jako základové oleje jsou vhodné např. modifikované rostlinné estery [20].



### 3.2 Obrobitelnost hliníkových slitin

Hliníkové slitiny v porovnání s dalšími konstrukčními materiály jsou často dobře obrobitelné. Některé slitiny hliníku však mají obrobitelnost horší, zejména z hlediska tvorby nárůstku, dosahovaných kvalitativních parametrů i z hlediska utváření třísky.

Tvorba nárůstku představuje jeden z hlavních problémů při obrábění slitin hliníku. U některých typů slitin se nárůstek tvořit nemusí, ve většině případů se ale nárůstek tvoří. Nárůstek se tvoří vždy v určitém rozmezí teplot řezání [8].

Zatímco obrobitelnost čistého hliníku je velmi špatná, obrobitelnost některých hliníkových slitin je velmi dobrá. Hlavním rozdílem mezi obrobitelností čistého hliníku a různých hliníkových slitin spočívá především v jejich struktuře. Významnou roli hraje především chemické složení a tepelné zpracování kupř. s rostoucím obsahem křemíku opotřebení nástrojů vzrůstá (nadeutektické slitiny s hrubými částicemi Si způsobují velmi rychle opotřebení nástrojů). Určitou výjimkou v tomto pravidle jsou eutektické slitiny s obsahem Si kolem 12%. Tyto slitiny se vyznačují poměrně měkkou matricí, do které se tvrdé částice Si snadno při obrábění zpět zatlačí. Z tohoto zorného úhlu působí nepříznivě na zvýšení opotřebení nástrojů tepelné zpracování, které vede ke zpevnění matrice. Neméně důležitou roli má i způsob zpracování, kupř. u slévárenských slitin vede jemnozrnná homogenní lící struktura vždy k menšímu opotřebení nástroje, výskyt nespojitostí, lunkrů, oxidických vrstev, nekovových vměstků vede vždy k většímu opotřebení nástrojů. Z legovaných přísad zlepšuje obrobitelnost hliníku měď, hořčík, mangan, zinek, ale i měkké sloučeniny jako např.  $Mg_2Al_3$ ,  $TiAl_3$  [8], [9], [14].

Z chemických vlastností ovlivňuje obrobitelnost např. reakce slitiny s okolním prostředím (vznik vrstvy  $Al_2O_3$  na povrchu obrobku, která nepříznivě ovlivňuje obrobitelnost). Z fyzikálních vlastností ovlivňují obrobitelnost tepelná vodivost a tepelná roztažnost. Z mechanických vlastností ovlivňují obrobitelnost mez kluzu, pevnost v tahu, tvrdost, modul pružnosti. Dalšími důležitými faktory jsou pracovní podmínky (řezné podmínky, materiál a geometrie nástroje a řezné prostředí). Proto nelze pojem obrobitelnosti odloučit od pojmu řezivosti nástroje, protože konečný výsledek obrábění závisí kromě charakteristiky materiálu obrobku také na vlastnostech břitu nástroje [8], [14].

Z hlediska chemického složení je možno slitiny hliníku rozdělit podle stupně obrobitelnosti přibližně do 3 skupin [9]:

- nejlépe obrobitelné jsou slitiny: Al+Cu, Al+Mg, Al+Cu+Mg (duraly);
- obrobitelné jsou slitiny: Al+Si, Al+Si+Cu (Si < 5 %);
- těžko obrobitelné jsou slitiny: Al+Si (Si až 12 %).

Aby bylo vůbec možné obrobitelnost materiálu charakterizovat, je třeba vzít v úvahu 4 parametry [5], [8]:

- řeznou sílu;
- životnost nástroje;
- kvalitu obrobeného povrchu;
- tvar třísky.

Pro obrábění hliníku využijeme pouze asi 30 % **řezné síly** ve srovnání s potřebnou řeznou silou při obrábění ocelí. Zvláštní význam má ortogonální nástrojový úhel čela  $\gamma_0$ . Zvětšením tohoto úhlu o jeden stupeň klesne řezná síla cca o 1,5 % [5].

Důležitá doporučení dle [5]:

- používat nástroje s nástrojovým ortogonální úhel čela  $\gamma_0 > 25^\circ$ ;
- používat nástroje s ostrými břity;
- používat nástroje s mikroleštěným povrchem čela.

**Životnost nástroje** je definována jako součet všech trvanlivostí, nebo též jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení [9]. Kritériem pro výměnu nástroje (ukončení trvanlivosti nebo životnosti) je jeho opotřebení [13].

Formy a příčiny opotřebení nástrojů při obrábění hliníkových slitin jsou uvedeny v tab. 3.1

Tab. 3.1 Formy a příčiny opotřebení [5], [10].

Opotřebení na čele nástroje	
Příčina	Snímek
Příliš vysoká řezná rychlost a / nebo posuv	
Nedostatečný přívod řezné kapaliny	
Malý nástrojový ortogonální úhel čela	
Povlak s nedostatečnou odolností proti opotřebení	
Opotřebení na hřbetě nástroje	
Příčina	Snímek
Příliš vysoká řezná rychlost	
Povlak s nedostatečnou odolností proti opotřebení	
Malý posuv (nedostatečná tloušťka třísky)	
Tvorba nárůstu	
Příčina	Snímek
Příliš nízká řezná rychlost	
Nedostatečný přívod řezné kapaliny	
Malý nástrojový ortogonální úhel čela	
Špatně zvolený materiál řezného nástroje	

Důležitá doporučení dle [5]:

- používat slinuté karbidy s velmi dobrou odolností proti opotřebení (nízký obsah kobaltu,  $\text{Co} < 10\%$ );
- optimalizovat resp. najít ideální povlak.

**Kvalita obrobeného povrchu** jako integrovaná charakteristika strojních součástí, je definována:

- geometrií obrobeného povrchu;
- fyzikálně-mechanickými vlastnostmi povrchové vrstvy, především odchylkami od ideálního tvaru;
- fyzikálně-chemickým stavem povrchu.

Stav a kvalita povrchové vrstvy obrobku mají největší vliv na únavovou pevnost, odolnost proti opotřebení, protikorozní stabilitu, kvalitu montáže apod. Je známe, že dynamicky namáhané součásti se zpravidla začínou porušovat napovrch.

Obrobená plocha se od základních geometrických ploch zadaných na výkrese, tj. od roviny nebo válcové plochy apod. zásadně liší. Teoretický sled poloh řezné části nástroje, daných kinematickým schématem se mění v důsledku následujících faktorů:

- pružnou a plastickou deformací v čase tvoření třísky;
- dynamickými jevy, tj. kmitáním technologické soustavy;
- přesností výrobního zařízení.

Vliv plastické deformace na reálný obrobený povrch je založen především na adhezních silách mezi obrobkem a nástrojem a na tvoření nárůstku. Nárůstek se odděluje od ploch řezného nástroje, přilepuje se na obrobený povrch a vytváří na něm vyvýšeniny. Ty se mohou v procese řezání odtrhávat a na povrchu se objevují vytrhané plošky [11].

Vliv kmitání se projevuje tím, že narušuje teoretický sled pohybu řezné části nástroje.

Vliv tření hřbetu nástroje o obrobek se projevuje i tím, že nerovnosti řezné hrany se kopírují na obráběný povrch.

Drsnost povrchu, definovanou na výkrese, je možné považovat za limitní hodnotu, která se má v technologickém procesu dosáhnout. V technologické praxi se nejčastěji setkáváme s parametry  $R_a$  (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu) a  $R_z$  (největší výška profilu, tj. součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky).

Nevhodně **utvořené třísky** značně narušují výrobní proces. Mohou se střetávat s obrobkem a poškodit tak obrobený povrch. Dále se obtížně odstraňují z pracovního prostoru obráběcího stroje. Při obrábění existuje množství faktorů ovlivňujících, ať už pozitivně či negativně, utváření třísky. Mezi tyto faktory patří [5]:

- obráběný materiál – typ slitiny, struktura slitiny, stav zpracování;
- materiál nástroje – tření na čele nástroje;
- řezné podmínky – posuv, hloubka záběru ostří, řezná rychlost;
- stroj – statická a dynamická tuhost;
- řezné kapaliny – vysoké množství řezné kapaliny, minimální množství řezné kapaliny, obrábění bez použití řezné kapaliny;
- dělení třísek – geometrie řezné části nástroje, utvářeče třísek.

Pro průmyslovou praxi jsou vyžadovány třísky s krátkým lomem, protože dlouhé páskové třísky představují riziko úrazu, smotané třísky mohou poškodit nástroj a obrobek a pouze u krátkých třísek je díky jejich nízké potřebě prostoru zaručen hladký odvod.

V tab. 3.2 nalezneme vliv vybraných podmínek obrábění a geometrie bříty na tvar třísek [5], [12].

Tab. 3.2 Tvar třísek v závislosti na podmínkách obrábění a geometrii bříty [12].

Podmínky obrábění	Vliv na tvar třísek
Řezná rychlost	S rostoucí řeznou rychlostí se zhoršuje tvar třísek v závislosti na materiálu.
Posuv	S rostoucím posuvem se zlepšuje lámání třísky.
Ortogonální úhel čela	Záporný úhel čela má za následek dobré lámání třísky, ale zhoršuje se jakost povrchu.
Úhel nastavení hlavního ostří	Utváření třísky je snazší a hladší, je-li úhel nastavení menší.
Utvářeče třísek	Utvářeče třísek cíleně zlepšují lámání třísek (je zapotřebí je přizpůsobit procesu).

### 3.3 Nástrojové úhly pro obrábění hliníkových slitin

V technologické praxi se nejčastěji setkáváme s úhly  $\alpha_o$ ,  $\gamma_o$ ,  $\kappa_r$ ,  $\kappa'_r$  a  $\lambda_s$  které určují tvar řezné části nástroje. Údaj doplníme o poloměr špičky nože  $r_\epsilon$ .

Na proces obrábění slitin hliníku má velký vliv úhel čela  $\gamma_o$ , doporučuje se volit  $\gamma_o > 25^\circ$  [5]. Používá se tedy relativně velký úhel čela, který však ovlivňuje úhel břitu  $\beta_o$ . Velikost úhlu břitu udává pevnost břitu v ohybu. Odolnost břitu v ohybu lze zvýšit vytvořením fazety (krátkého pomocného čela) pod záporným úhlem čela.

Úhel hřbetu  $\alpha_o$  určuje polohu hřbetu nástroje vzhledem k přechodové ploše, proto má vliv na velikost tření mezi hřbetní plochou nástroje a přechodovou plochou obrobku. Při malých úhlech hřbetu je tření intenzivní. Při velkých úhlech hřbetu klesá pevnost břitu. Běžně se používají hodnoty od  $+4^\circ$  do  $+12^\circ$ . Menší úhly hřbetu jsou vhodné při obrábění materiálů s vyšší pevností, při malých posuvech a vyšších řezných rychlostech a naopak. Extrémně vysoké hodnoty jsou určeny pro obrábění slitin hliníku [9], [11].

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  ovlivňuje tvar třísky, délku řezné hrany v záběru a směr působení řezných sil. Při shodném posuvu a šířce záběru ostří se při zmenšujícím se úhlu nastavení hlavního ostří zvětšuje šířka odřezávané vrstvy a klesá tloušťka odřezávané vrstvy, tedy průřez odřezávané vrstvy je štíhlejší. To má za následek zvětšení délky řezné hrany v záběru, lepší odvod tepla do nástroje, jiný průřez třísky. Naopak při zvětšujícím se úhlu klesá řezný odpor, ale roste intenzita opotřebení nástroje. Při zmenšování úhlu nastavení hlavního ostří roste pasivní síla  $F_p$  a zvětšuje se průhyb obrobku.

Úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa'_r$  má vliv na výšku nerovností profilu. To platí však jen tehdy, pokud je poloměr zaoblení špičky výrazně menší než posuv.

Úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  ovlivňuje směr odchodu třísky a pevnost břitu. Tříska má totiž tendenci odcházet kolmo k řezné hraně. Když je řezná hrana rovnoběžná se základní rovinou, je tento úhel nulový a tříska ve tvaru Archimedovy spirály se stáčí na přechodovou plochu. Když je hrot nástroje nejnižším bodem čela, jde o záporný úhel sklonu a tříska ve tvaru šroubovice má tendenci se stáčet k obrobené ploše. Když je hrot nástroje nejvyšším bodem čela, jde o kladný úhel sklonu a tříska ve tvaru šroubovice má tendenci se stáčet k obráběné ploše. Na směr odchodu třísky má však vliv i úhel čela  $\gamma_o$ . Úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  se běžně používá v rozmezí  $-6^\circ$  do  $+6^\circ$ . Kladné hodnoty se používají pro obrábění měkkých a méně pevných materiálů (slitin hliníku) a při malých průřezích třísky.

Nástrojový poloměr špičky  $r_\epsilon$  bývá v rozsahu 0,2 – 5,0 mm a má vliv na velikost příčné mikronerovnosti obrobeného povrchu. Zvětšování poloměru špičky vede ke zmenšení výšky nerovností, narůstá však délka styku řezné hrany s obrobkem. Tím klesá tloušťka odřezávané vrstvy a stoupá radiální síla, což vede ke kmitání technologické soustavy. Proto se při větších poloměrech doporučuje zvětšit současně úhel nastavení hlavního ostří, čímž se délka řezné hrany v záběru zkrátí [11].

### 3.4 Nástrojové materiály pro obrábění slitin hliníku

Pro obrábění hliníkových slitin s obsahem křemíku cca 12 % používáme vyměnitelné břitové destičky (VBD) z těchto materiálů:

- povlakované slinuté karbidy;
- polykrystalický diamant.

#### 3.4.1 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) jsou tvořeny velmi tvrdými karbidovými částicemi. Základními karbidy pro obráběcí nástroje jsou karbid wolframu WC a kubické nitridy jako karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. Rozměry částic pro výrobu karbidu wolframu jsou menší než 1,0  $\mu\text{m}$  (0,2-0,4  $\mu\text{m}$ ). Jako pojivo se používá kobalt (má vysokou smáčivost) nebo nikl. Směs prášků WC + Co je slinována v ochranné atmosféře při teplotě 1300 – 1700 °C. Pro řezné nástroje je obsah karbidových částic minimálně 80 % [9].

Z hlediska použití se SK dělí do tří základních skupin [9]:

- skupina K se základním složením - WC + Co;
- skupina P se základním složením - WC + TiC/TaC + Co;
- skupina M se základním složením - WC + TiC + TaC/NbC + Co.

**SK skupiny K:** Obsah Co 4-12 % a rozměry zrn karbidů jsou od 0,2 až 10,0  $\mu\text{m}$  (jemnější zrna znamenají vyšší houževnatost, vyšší odolnost ke křehkému porušování, ale vyžadují vyšší obsah pojiva). Karbid wolframu, který tvoří jedinou tvrdou strukturní složku této skupiny SK, má za pokojové teploty tvrdost srovnatelnou s většinou ostatních karbidů, s rostoucí teplotou ale její hodnota klesá rychleji než u jiných karbidů. Proto jsou určeny především pro obrábění materiálů, u kterých se tvoří krátká, drobná tříška (např. šedá litina a nezelezné slitiny) a to proto, že při obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku je čelo nástroje mnohem více tepelně zatěžováno (dlouhá tříška má větší plochu styku s čelem nástroje a doba jejího kontaktu s nástrojem je delší).

**SK skupiny P** obsahuje TiC, který zaručuje vysokou odolnost proti difúzi za vysokých teplot, která je jednou z hlavních příčin vytváření výmolu na čele nástroje v místě styku s odcházející třískou. Jsou ovšem náchylnější na křehký lom, než SK skupiny K. Jsou proto určeny pro obrábění materiálů, u kterých se tvoří dlouhá tříška, např. uhlíkaté oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Nevýhodnou vlastností TiC je jejich vyšší křehkost a nižší odolnost proti abrazi ve srovnání s WC.

**SK skupiny M** mají univerzální použití a jsou určeny pro obrábění materiálů s dlouhou a střední třískou (např.: těžkoobrobitelné oceli a tvárné litiny). Vzhledem k relativně vysoké houževnatosti se SK této skupiny též často používají pro těžké hrubovací a přerušované řezy.

Dále se ještě SK dělí podle svého chemického složení a tvrdosti. Např. K01 má největší procento karbidů WC a menší obsah pojiva Co a proto je velmi odolný proti otěru. Naopak SK označovaný jako K40 obsahuje nejméně WC a má největší obsah pojiva, tudíž je více houževnatější. Analogicky se dělí i SK skupiny P a M [9].

#### 3.4.1.1 Povlakované slinuté karbidy

Vývoj nástrojů z SK vedl k odstranění nejméně tvrdé fáze (tzn. pojiva) ze substrátu, zejména v povrchové vrstvě. VBD se tudíž povlakovaly tvrdými vrstvami pomocí metod [9]:

- **metoda PVD** (Physical Vapour Deposition), která je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod 500°C). Povlaky jsou vytvářeny za sníženého tlaku (0,1 - 1,0 Pa) kondenzací částic (atomů, případně shlukem atomů), které jsou uvolňovány ze zdroje částic (terčů, targetů) fyzikálními metodami (rozprašováním nebo odpařováním). Uvolněné částice se usazují ve formě tenké vrstvy (1,0 – 5,0 μm) homogenního povlaku na povrch substrátu [16].
- **metoda CVD** (Chemical Vapour Deposition), která probíhá za vysokých teplot (1000 – 1200°C). Jedná se o chemický proces povlakování, který je založen na reakci plyných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového SK, a následné uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Tato metoda je hlavní metodou v povlakování slinutých karbidů [16].

Povlaky jsou obvykle na bázi titanu (karbid titanu TiC, nitrid titanu TiN, karbonitrid titanu TiCN nebo oxidu hlinitého Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). V praxi se uplatňují povlaky obecně monovrstvé či vícevrstvé, např. TiC- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN (směr povlaků od podkladu k povrchu).

Tyto vrstvy mají řadu výhod. Neobsahují pojivo, svým uspořádáním brání abrazi, difúzi, šíření transkrystalických trhlin, mohou mít velmi nízký součinitel tření atd. Nyní se vyvíjí PVD povlaky na bázi diamantu a kubického nitridu bóru.

Jednotlivé materiály se navzájem liší druhem povlaku, kombinací vrstev, tloušťkou povlaku (celková tloušťka povlaku bývá obvykle 2,0 – 5,0 μm), metodou povlakování, substrátem atd. Pro konkrétní aplikaci rezného nástroje s povlakovanou břitovou destičkou (obráběný materiál, rezné podmínky) je velmi důležitá správná kombinace všech uvedených faktorů [9].

Firma Plansee Tizit ve svém katalogu [5] nabízí pro obrábění slitin hliníku VBD typu AMZ s podkladem ze SK třídy K 10 povlakovaný Ti Al N - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> povlakem metodou PVD. Tloušťka vrstvy je 3 μm a mikrotvrdost je 3600 HV.

### 3.4.2 Diamant

Diamant je nejtvrdší ze všech materiálů a patří společně s kubickým nitridem boru do skupiny supertvrdých řezných materiálů. Pro obrábění se využívají jak monokrystalické přírodní diamanty, tak ve formě polykrystalů, které se vyrábí synteticky (zahřívání uhlíku při teplotě nad 1500 °C a při vysokém tlaku asi 5 - 8 GPa) [9].

Vyměnitelné břitové destičky z polykrystalického diamantu mohou být vyrobeny ve formě [16]:

- nanesení nebo připájení silné vrstvy PKD na podložku ze SK;
- roubíku malé tloušťky z PKD, který je připájen do vybrání vytvořeného na špičce břitové destičky (může se jednat i o více špiček).

Široké aplikační schopnosti poskytuje diamant v oblasti obrábění hliníkových slitin (soustružení i frézování – v některých případech lze použít řezné rychlosti, které přesahují hodnotu 5000 m.min<sup>-1</sup>), zejména s vysokým obsahem křemíku, který působí na nástroj velmi silným abrazivním účinkem.

Protože má poměrně nízkou teplotní stálost (při teplotách nad 650°C se mění v grafit), nesmí být používán pro obrábění materiálů na bázi železa (ocel, litina).

Pro obrábění diamantovými nástroji je doporučováno chlazení běžnými procesními kapalinami. Je však požadováno, aby oběhové čerpadlo bylo schopno dodávat kapalinu do místa řezu pod vysokým tlakem. Protože nástroje z PKD pracují obvykle za vysokých řezných rychlostí, použitý obráběcí stroj musí mít vysoký výkon a tuhost a s ohledem na vysoké úběry obráběného materiálu je též třeba dbát na efektivní odstraňování třísek z místa řezu.

Mechanické, tepelné a řezné vlastnosti nástrojů ze supertvrdých řezných materiálů (PKD a PKNB) jsou do značné míry ovlivněny velikostí zrna tvrdých částic a použitým pojivem. Čím je zrno jemnější, tím je intenzita opotřebení nástroje menší a naopak. Při použití keramického pojiva je intenzita opotřebení nástroje, ve srovnání s kobaltovým pojivem, menší [16].

Firma Sandvik Coromat nabízí ve svém katalogu [15] VBD typu CD10 (N05) s roubíkem slinovaného z krystalů PKD o průměru 7,0 μm. Nebo také VBD typu CD 1810 (N10), kde je na speciálně upravený podklad nanесena vrstva PKD o tloušťce 6,0 – 8,0 μm a to pomocí metody CVD.



## 4. TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

### 4.1 Metodika navrhování výrobních postupů

Výrobní postup je závazný dokument postupu výroby od polotovaru po hotový výrobek, proto musí obsahovat veškeré údaje potřebné k zabezpečení vlastní výroby. V hromadné výrobě se používá kresleného výrobního postupu.

Výrobní postup musí bezpodmínečně zabezpečit:

- předepsanou jakost výrobku;
- nejkratší průběžnou dobu výroby;
- nejnižší výrobní náklady na zhotovení výrobku.

Z metodického hlediska spočívá vypracování výrobního postupu v řešení následujících úloh:

- stanovení optimálních rozměrů materiálu pro výrobu polotovarů;
- určení sledu, druhu a počtu operací nezbytných pro výrobu;
- navržení technicky vhodného a ekonomicky účelného výrobního zařízení;
- určení vhodné technologické základny a účelného upnutí obrobku,
- přepočítání rozměrů, pokud se neshoduje technologická základna s konstrukční;
- rozvržení celkového přídavku na jednotlivé operace a stanovení mezioperačních rozměrů a tolerancí;
- navržení náradí (nástrojů, přípravků, měřidel atd.);
- stanovení optimálních řezných podmínek včetně prostředí;
- vypracování technologické dokumentace.

Výrobní postup (montážní postup) musí obsahovat všechny údaje potřebné pro výrobu, čili každá operace musí obsahovat následující data [3]:

- název a číslo výrobku, sestavy, podsestavy;
- číslo operace;
- typ stroje, číslo pracoviště;
- popis práce, náčrt součásti s vyznačenými technologickými základnami, mezioperační rozměry a tolerance, vyznačenou plochu, která bude obráběna;
- obsazení pracoviště (např.: vícestrojová obsluha);
- technologické podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka záběru ostří, strojní a dávkový čas), pracovní prostředí (řezná kapalina);
- sled úseků dané operace;
- seznam nástrojů, měřidel, přípravků, pomůcek;
- datum vyhotovení, podpis, kdo kontroloval, změny;
- v kontrolních návodkách způsob kontroly.

## 4.2 Podklady pro navrhování technologických postupů

- konstrukční dokumentace: výkresy sestav, podsestav, polotovarů, výrobní výkresy a kusovníky;
- plánovací dokumentace: výrobní program, roční plán výroby atd.;
- normativní dokumentace: technicko-hospodářské normy, katalogy strojů, nářadí atd.;
- organizační údaje: kooperační vztahy, organizace dílny, závodu atd.

## 4.3 Technologické základny

Základny lze z hlediska jejich poslání rozdělit na [3]:

- konstrukční – slouží pro vzájemné spojení (určení polohy) konstrukčně technologických prvků, z nichž jsou jednotlivé součásti sestaveny;
- technologické – reálná, přístupná, dostatečně tuhá, velká plocha určující plochu obrobku, ke které se vztahují operační rozměry a od které vycházíme při ustavování obrobku v dané operaci;
- kontrolní (měřicí) – slouží ke kontrole správnosti geometrické a tvarové přesnosti rozměrů. Zpravidla je totožná s technologickou;
- montážní – určuje vzájemnou polohu ploch a součástí v montážním celku.

### 4.3.1 Zásady volby technologické základny

Technologická základna musí zabezpečit takové ustavení a upnutí, aby operace byla provedena hospodárně a přesně. Technologická základna ovlivňuje [3]:

- přesnost výroby součástí (rozměrovou a tvarovou přesnost, drsnost obrobených ploch);
- hospodárnost výroby (snižování vedlejší časů pro upínání, snižování zmetkovitosti).

Rozdělení technologických základen [3]:

- technologická základna hrubá – neobrobená plocha použitá pro první upnutí polotovaru (odlitku, výkovku atd.);
- technologická základna dokončovací – obrobená plocha, která se používá jako základna pro dokončení součástí;
- technologická základna hlavní – plocha, která je současně základnou konstrukční, tj. určuje polohu součástí a její funkční vztah k jiným součástem ve skupině;
- technologická základna vedlejší – neshoduje se s konstrukční základnou a slouží pouze jako operační základna;
- technologická základna ustavovací – plocha, která zaručuje požadovanou polohu obrobku vůči nástroji;
- technologická základna opěrná – plocha, o kterou se při obrábění opírá obrobek.

#### 4.4 Vliv základních faktorů na přesnost výroby

Přesnost výroby lze charakterizovat jako stupeň shodnosti mezi vyrobenými (skutečnými) a teoretickými (předepsanými na výkrese) tvary, rozměry, drsností apod.

Převážnou příčinou výrobních chyb během procesu obrábění je [3]:

- nedostatečná geometrická přesnost stroje, nástroje, přípravku;
- nedostatečná přesnost polohování řízené části stroje;
- pružné a tepelné deformace soustavy stroj – nástroj – obrobek – přípravek;
- opotřebení částí stroje, nástroje, přípravku;
- nerovnoměrné přídavky na obrábění;
- struktura obráběného materiálu;
- nepřesné seřízení nástroje, přípravku;
- nedostatečná přesnost a tuhost upnutí obrobku v přípravku;
- nedostatečná přesnost polohování a přepínání obrobku;
- nepřesné metody měření;
- nedostatečné vybavení strojů sledovacími měřidly;
- malý stupeň automatizace kontroly;
- kolísání teploty;
- nepříznivé pracovní prostředí (otřesy, hluk, vlhko apod.).

Působením těchto vlivů dochází ke vzniku dílčích úchylek rozměru, tvaru a polohy obrobených ploch. Tyto dílčí úchylky lze podle jejich charakteristik členit na úchylky:

- systematicky konstantní: chyba v seřízení stroje, úchylnka rozměru a tvaru nástroje apod.;
- systematicky proměnné: opotřebení nástroje, tepelné a pružné deformace obráběcího systému apod.;
- náhodné: nerovnoměrné přídavky na obrábění, nestejnomyerné vlastnosti obráběného materiálu apod.

## 4.5 Výpočty strojních časů pro vybrané technologie obrábění

### 4.5.1 Soustružení podélné válcové plochy:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [min] \quad (5.1)$$

$L$  – celková dráha nástroje [mm]

$l_n$  – délka náběhu [mm];

$l$  – délka soustružené plochy [mm];

$l_p$  – délka přeběhu [mm];

$f$  – posuv na otáčku obrobku [mm];

$n$  – otáčky obrobku [ $min^{-1}$ ].

### 4.5.2 Soustružení čelní plochy s konstantní řeznou rychlostí:

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot [(D_{max} + 2l_n)^2 - (D_{min} - 2l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad [min] \quad (5.2)$$

Při čemž řezná rychlost  $v_c$ :

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (5.3)$$

$D$  – výchozí obráběný průměr [mm];

$d$  – konečný obrobený průměr [mm];

### 4.5.3 Čelní frézování

#### 4.5.3.1 Čelní symetrické frézování nahrubo

U hrubování čelní frézou není nutné přejíždět celou frézou. Jednotkový strojní čas  $t_{AS}$  se po té vypočítá ze vztahu:

$$t_{AS} = \frac{L}{f_z \cdot z \cdot n_s} = \frac{l_n + l + l_p}{f_z \cdot z \cdot n_s} \quad [min] \quad (5.4)$$

Při čemž délka přeběhu  $l_p$ :

$$l_p = \frac{D_s}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D_s^2 - a_e^2} + c \quad [mm] \quad (5.5)$$

$f_z$  – posuv nástroje na zub [mm];

$z$  – počet zubů frézy [-];

$n_s$  – otáčky řezného nástroje [ $mm^{-1}$ ];

$D_s$  – průměr frézy [mm];

$a_e$  – šířka frézované plochy [mm];

$c$  – bezpečnostní přeběh [mm].

#### 4.5.3.2 Čelní symetrické frézování načisto

U symetrického frézování načisto je třeba přejet celou frézou, pak přeběh  $l_p$  bude:

$$l_p = D_s + c \quad [mm] \quad (5.6)$$

Strojní čas  $t_{AS}$  se vypočítá dle vztahu 5.4.

#### 4.5.4 Vrtání a vyvrtávání

Jednotkový strojní čas  $t_{AS}$  se u vrtání a vyvrtávání vypočítá ze vztahu:

$$t_{AS} = \frac{L}{f \cdot n_s} = \frac{l_n + l + l_p}{f \cdot n_s} \quad [min] \quad (5.7)$$

U vyvrtávání uvažujeme hlavní řezný pohyb nástroje i podélný posuv nástroje. Vyvrtávací nůž je pevně uložen ve vyvrtávací tyči.

## 5. AUTOMATIZOVANÉ VÝROBNÍ SOUSTAVY (AVS)

Automatizace je někdy považována za jednu z cest, jak se udržet na světových trzích v podmínkách ostré konkurence, kde lze obstát jedině tehdy, dokážeme-li vyrábět levněji, kvalitněji a rychleji než jiní.

Automatizaci technologických procesů je nutno chápat komplexně, nelze ji zúžit pouze na vlastní stroj. Patří sem i automatizovaná doprava, manipulace s materiálem, kontrola a měření atd. [17].

Jak potvrzují četné aplikace v průmyslu, probíhá vývoj ve třech etapách:

- 1. etapa - stavebnicová soustava všech typů obráběcích strojů, mající různý stupeň automatizace;
- 2. etapa – Vyšší úroveň automatizace ve formě pružných výrobních buněk (PVB), pružných výrobních soustav (PVS), pružných výrobních linek (PVL) a tvrdých automatických linek (TAL);
- 3. etapa - AVS (automatizované výrobní soustavy) na úrovni dílny nebo závodu.

Číslicovým řízením obráběcích strojů, automatickou, manipulací s nástroji a obrobky byla vyloučena přítomnost obsluhy v pracovním procesu. AVS jsou většinou bezobslužná pracoviště. Pro dosažení bezobsažnosti musejí být vyvinuty specializované automatizační prostředky, které nahradí činnost lidské obsluhy ve zbývajících funkcích, a to při kontrole přesnosti výroby, dozoru na správnou funkci nástrojů a konečně diagnostice celé AVS. Hlavním úkolem aktivní kontroly je automatická eliminace vlivů různých faktorů, které negativně ovlivňují přesnost obrábění a pracovní způsobilost stroje.

Do AVS zahrnujeme jedno nebo převážně více technologických pracovišť, u kterých všechny hmotné a informační vstupy jsou do určitého stupně automatizovány a tvoří jednu ucelenou soustavu s centrálním řízením schopným automatického provozu bez potřeby obsluhy po určitou dobu zpravidla jedné směny. AVS se vyznačuje řízeným výrobním procesem pro výrobu různých součástí nebo výrobků podle daných možností soustavy a podle předem určeného plánu. Nasazením AVS se zajišťuje vyšší spolehlivost závodu, nižší výrobní náklady a vyšší jakost výroby při dokonalejším řízení. AVS je dnes nejúčinnějším výrobním prostředkem, který zabezpečuje pozici průmyslového podniku z hlediska zvyšování produktivity. Pružnost AVS umožňuje vyrábět součásti tehdy, kdy je potřebuje trh. AVS vede k vyššímu využívání kapacity obráběcích strojů a zároveň jejího nasazení předpokladem pro bezobslužný provoz – CIM (Computer integrated manufacturing) [17].

## 5.1 Vybrané typy automatizovaných výrobních soustav

**Pružné výrobní systémy (PVS)** jsou tvořeny větším počtem technologických pracovišť, zpravidla obráběcích center, vzájemně propojeny mezioperační dopravou součástí a pomůcek. Pro řízení se používá CNC (Central Numerical Control) a DNC (Direct Numerical Control) řízení. PVS je schopna provést kompletní obrobení, a z toho důvodu je vybavována nejenom potřebným zařízením pro opracování, ale též zařízením pro dopravu a skladování součástí, výrobních pomůcek a odpadu, dále měřícím, a kontrolním zařízením a prostředky pro sběr a vyhodnocování informací nezbytných pro řízení výrobního procesu v této soustavě. Celková skladba PVS je uvedena v tab. 5.1.

**Tvrdé automatické linky (TAL)** představují vývojově nejstarší formu AVS. Její skladba je převážně realizována stanicemi tvořenými jednoúčelovými stroji, které jsou propojeny dopravou obrobků zpravidla s technologicky vázaným taktem. Jsou určeny pro oblasti velkosériových a hromadných výrob, kde je jejich nasazení většinou velmi efektivní. Podle dopravy obrobků je dělíme na typ s nosnou deskou (součást je upnuta na nosné desce dopravované mezi stanicemi) a bez nosné desky (součást má spodní část uzpůsobenou pro dopravu mezi jednotlivými stanicemi). V jednotlivých stanicích potom dochází ke zpevnění a k vlastnímu obrábění. Celková skladba tvrdé automatické linky je uvedena v tab. 5.2.

V současné době lze hovořit také o kombinaci některých druhů AVS. Lze pozorovat AVS, která je tvořena PVS a TAL nebo pouze PVS spojených mezioperačních a mezisoustavovou dopravou obrobků. Pak hovoříme o tzv. agile production [17].

Tab. 5.1 Struktura skladby PVS [17].

<b>Skladba PVS</b>	<b>Parametry - funkce</b>
Technologické pracoviště	<b>Typ stroje:</b> NC obráběcí stroje, soustružnická OC, nerotační OC, více vřetenová OC
Doprava a manipulace	<b>Obrobek:</b> na paletě, bez palety, zásobníky atd. <b>Nástroj:</b> nástroje ve stroji automaticky, nástroje ke stroji ručně nebo automaticky <b>Třísky:</b> odvod z pracovního prostoru stroje automaticky, z celé PVS ručně i automaticky
Kontrola a měření	<b>Obrobek:</b> na stroji nebo mimo stroj – dotykové sondy, měřicí stanice atd. <b>Nástroj:</b> na stroji v zásobníku, mimo stroj <b>Obráběcí stroj:</b> aktivní kontrola provozních parametrů stroje (síla, moment atd.)
Příprava pomůcek	<b>Obrobek:</b> palety pro obrobky, upínače, kódování <b>Nástroj:</b> ostření, seřizování, montáž nástrojové jednotky, kódování <b>Informace:</b> příprava a ověření programů
Řízení	<b>Technologické pracoviště:</b> propojení s CNC, DNC, technická diagnostika <b>Doprava a manipulace:</b> propojení řízení cyklu manipulace a dopravy <b>Kontrola a měření:</b> propojení toku informací <b>Příprava pomůcek:</b> propojení toku informací

Tab. 5.2 Struktura skladby TAL [17].

<b>Skladba TAL</b>	<b>Parametry - funkce</b>
Technologické pracoviště	<b>Typ stroje:</b> stanice JÚS, soustružnická OC, nerotační OC, více vřetenová OC
Doprava a manipulace	<b>Obrobek:</b> bez nosné desky, s nosnou deskou, krokový dopravník atd. <b>Nástroj:</b> ručně <b>Třísky:</b> odvod z pracovního prostoru stroje automaticky
Kontrola a měření	<b>Obrobek:</b> v lince – dotykové sondy, měřicí stanice atd. <b>Nástroj:</b> nepřímá kontrola <b>Obráběcí stroj:</b> aktivní kontrola provozních parametrů stroje (síla, moment atd.)
Příprava pomůcek	<b>Obrobek:</b> palety pro obrobky, upínače <b>Nástroj:</b> ostření, seřizování, montáž nástrojové jednotky, kódování <b>Informace:</b> příprava a ověření programů
Řízení	<b>Technologické pracoviště:</b> propojení s řídicím systémem <b>Doprava a manipulace:</b> propojení řízení cyklu manipulace a dopravy <b>Kontrola a měření:</b> propojení toku informací <b>Příprava pomůcek:</b> propojení toku informací



## 5.2 Jednoučelové obráběcí stroje

Technologická podsestava je tvořena různými typy obráběcích strojů (jednoprofesní CNC obráběcí stroje, obráběcí centra jednovřetenová, dvouvřetenová atd.). Pro obrábění určitého typu součástí v oblasti velkosériové a hromadné výroby jsou určeny jednoučelové stroje. Jsou tvořeny stavebnicovou skladbou pracovních, polohovacích a přídatných jednotek umístěných na spodní stavbě, která tvoří rám stroje. Jednoučelové stroje řešené na principu stavebnicové skladby přinášejí tyto výhody [17]:

- uzly jsou vyráběny sériově, jsou kvalitnější, levnější, spolehlivější;
- při změně výrobního programu mohou být stavebnicové jednotky užity pro skladbu nového stroje;
- je možno pozorovat dvě základní koncepce, a to v závislosti na velikosti obrobku a s tím souvisejících faktorů (tuhost, přesnost atd.). Pro obrábění malých obrobků jsou pracovní jednotky uspořádány do tuhého rámu tvořícího zároveň pracovní prostor.

Smyslem použití jednoučelových obráběcích strojů je provést na obrobku při jednom upnutí co nejvíce operací obrábění současně. Na jednoučelových obráběcích strojích lze obrábět součást současně z několika stran [19].

Jednoučelový obráběcí stroj má většinou:

- více pracovních vřeten;
- několik pracovních míst;
- zvláštní místo pro vkládání polotovaru a pro vyjímání hotového obrobku;
- speciální upínací zařízení;
- všechny funkce automatické;
- specifickou konstrukci;
- soustředěny práce různého charakteru (vrtání, soustružení, frézování atd.);
- speciální nástroje a měřidla pro seřizování nástrojů;
- různá pomocná zařízení, např. manipulátory, zařízení pro odvod třísek, různá dopravní zařízení, systémy chlazení a mazání atd.

Jednotlivé skupiny stroje, tj. vedení suportů a saní, uložení vřeten, rám stroje a výkon, se dimenzují tak, aby odpovídaly maximálním rezným podmínkám, kterými lze na stroji obrábět. Zkrácením vedlejších časů, časů pracovních cyklů a časů pro upínání se zvětšuje pracovní účinnost stroje. Proto musí konstrukce umožnit automatizaci zakládání polotovarů do upínače, upínání a uvolňování obrobku z upínače, signalizaci otupení nástroje, kontrolu rozměrů, zvýšení rychlosti u přírůvkových pohybů, zkrácení času nutného k výměně nástrojů v pracovním vřetenu atd. [19].

### 5.3 Automatická výměna nástrojů

Morfologie automatické výměny nástrojů a její typy:

- zásobník - diskový, kruhový, řetězový, velkokapacitní;
- manipulátor - portálový, jiné konstrukce;
- výměník - rameno 180° (pevné, výsuvné), rameno jiný úhel.

Na konstrukční provedení jednotlivých uzlů a prvků pro automatickou výměnu nástrojů jsou kladeny specifické požadavky, zejména pak [17]:

- minimální čas cyklu výměny nástroje;
- vysoká funkční spolehlivost;
- optimální kapacita zásobníku pro danou oblast využití;
- prostorově úsporné řešení;
- odolnost proti vlivu znečištění (třísky, prach).

Nosné zásobníky přenášejí řezné síly a jsou tvořeny většinou revolverovou hlavou. Revolverové hlavy bývají čtyř- nebo častěji šesti až dvanáctiboké a mohou být situovány jak s vodorovnou, tak i se svislou osou otáčení.

Skladovací zásobníky nepřenášejí řezné síly, mají pouze skladovací funkci. Aby bylo možno programovat sled nástrojů v průběhu opracování jednoho obrobku je nutné automatické vyhledávání nástrojů v zásobníku podle kódovaného označení a jeho umístění do pracovní polohy. Rozeznáváme následující typy výměn u skladovacích zásobníků [18], [17]:

- přímá (pick-up);
- zásobník-manipulátor-výměník-vřeten;
- zásobník-výměník-vřeten;
- výměna více vřetenových hlav.

Výměna otupených nástrojů v zásobníku za nástroje nové, nabroušené a seřízené je závažnou záležitostí, již přední výrobci obráběcích center věnují stále větší pozornost. Kontrola a výměna nástrojů v zásobníku musí co nejméně narušovat pracovní provoz centra. Jednou z možností je využití koncepce centrálního zásobníku.

Výměník, který je použit jako prostředek umístěný mezi zásobníkem a vřetenem, je zkonstruován většinou jako dvojramenná páka s úhlem 180° či jiným. Existuje dále ještě celá řada různých konstrukčních řešení výměníků nástrojů v závislosti na koncepci stroje a podmínkách využití. Společným rysem je snaha o minimalizaci času výměny nástroje a o maximální provozní spolehlivost [17].

## 5.4 Mezioperační doprava a manipulace

Dopravní systém zahrnující přemísťování obrobků, otočné ústrojí, zásobníky polotovarů, nakládací zařízení, zařízení pro odběr a dopravu třísek.

Funkcí dopravníku nebo tzv. dopravní jednotky je přemístění všech součástí v dopravním proudu. Všechny ostatní činnosti mohou být zabezpečeny průmyslovým robotem nebo jednoúčelovým manipulátorem. Dopravní zařízení se nejčastěji sestavuje z typizovaných jednotek a skupin, kde hlavní částí je většinou válečkový řetěz, na kterém jsou upevněny drážky umožňující vložení nebo přichycení obrobku. Pohyb dopravních součástí je nejčastěji přetržitý a jeho takt je závislý na délce určující pracovní operace. Dopravník obstarává dopravu obrobků mezi jednotlivými stroji a pracovními místy a případně zpětnou dopravu nosných desek s upínači, tj. technologických palet

K dopravě palet se nejčastěji používají válečkové nebo řetězové dopravníky v kombinaci s paletou opatřenou valivými tělisky, snižujícími odpor proti pohybu po lištách dopravníku a dnes moderní modulární dopravníkové systémy s plastovým ohebným destičkovým řetězem [19].

## 5.5 Automatická výměna obrobků

Morfologie automatické výměny obrobků:

- technologická paleta, stůl – hladká, závitové otvory, T drážky;
- výměník – robot (manipulátor), otočný, řetěz, šroub, válec;
- zásobník – odkládací místa, regál, otočný stůl;
- upínací základ palety – čepy, Hirthův věnec.

Obrobek může být manipulován upnutý na technologické paletě nebo volný. Způsob dopravy je možný průběžně – s uzavřenou dopravní smyčkou, vratně – s otevřenou dopravní smyčkou nebo kombinovaně [17].

Pro vlastní upnutí polotovaru (odlitek, výkovek atd.) resp. obrobku ve stroji se pro menší součásti využívají dva vřeteníky v jedné ose proti sobě. Po obrobení 1. strany přebírá polotovar zrcadlově umístěný vřeteník, který je ve směru osy vřetena pohyblivý. U tohoto řešení odpadají mechanismy pro přemísťování a obrácení obrobku. Řešení je vhodné především pro stroje k obrábění malých přírubových obrobků z tyčového materiálu. Stroje se čtyřmi vřeteny v otočném bubnu jsou určeny pro výkonné obrábění ve středně až velkosériové výrobě. Na dvou vřetenech se vždy obrábí 1. a 2. strana obrobků současně. Současným obráběním 1. a 2. strany obrobků se čas pro obrobení obou stran zkracuje na hodnotu odpovídající delšímu z obou časů. Materiál a polotovar se upínají během obrábění do druhých dvou vřeten.

Otočné vřeteníkové bubny se dvěma nebo čtyřmi zabudovanými vřeteny se používají jak u strojů s horizontální osou vřeten, tak též u strojů svislých [18].

Pro vlastní operační manipulaci s rotačními součástmi v pracovním prostoru stroje se převážně používají průmyslové roboty nebo manipulátory. Jsou uplatňovány v zásadě v těchto provedeních [18]:

- Manipulátor integrovaný se strojem což přináší na jedné straně úsporu výrobní plochy a minimální konstrukční úpravy stroje, na druhé straně však omezený přístup k pracovnímu prostoru stroje;
- Průmyslový univerzální robot umístěný u stroje, který potřebuje část výrobní plochy a u něhož nejsou převážně využívány všechny jeho funkce;
- Portálové manipulátory, jejichž největší výhodou je nenáročnost na výrobní plochu a uvolnění pracovního prostoru stroje. Kromě manipulace se součástmi nebo s technologickými paletami s upnutými součástmi mohou zajišťovat i výměnu nástrojů, upínacích čelistí ve sklíčidlech apod.;
- Křížové manipulátory, kde jde o univerzálnější verzi portálových manipulátorů, schopných obsáhnout více periferních zařízení (např. měřicí stanice, zásobníky palet se součástmi apod.).

## 5.6 Aktivní kontrola, adaptivní řízení a technická diagnostika CNC strojů

Pro dosažení bezobslužnosti výrobního zařízení v pravém slova smyslu jsou vyvinuty a nasazeny další specializované automatizační prostředky, které nahradí činnost lidské obsluhy ve zbývajících funkcích, a to při kontrole přesnosti výroby a eliminace faktorů nepříznivě působících na přesnost výroby, dozoru nad správnou funkcí stroje, nad stavem nástrojů (opotřebení, lomy) a konečně i při identifikaci příčin poruch výrobního zařízení a ochraně před jeho poškozením v důsledku vzniklých poruch.

Způsoby diagnostiky a kontroly [17]:

- adaptivní řízení – technologických veličin;
- aktivní kontrola – inprocesní, postprocesní;
- technická diagnostika – stavebních prvků strojů.

Hlavním cílem **adaptivního řízení (AC)** je dosáhnout zvýšení produktivity obrábění úsporami v hlavních (řezných) časech. Princip dosažení těchto úspor spočívá v regulaci řezných podmínek (především posuvu) v závislosti na okamžitých podmínkách obrábění (např. zatížení nástrojů). Vhodně koncipovaný blok AC, jenž průběžně monitoruje zatížení jednotlivých nástrojů při obrábění, lze využít i pro účely aktivní kontroly zatížení nástrojů a především pro indikaci jejich havárií i mimo režim AC. Podle provedených statistik představují havárie nástrojů v průměru 30 % příčin při odtavení stroje z produktivní výroby. Většina ve světě používaných systémů AC je určena pro adaptivní řízení při hrubovacích operacích, přičemž v převážné většině je řízena pouze posuvová rychlost v závislosti na okamžitých hodnotách zatížení nástrojů podle tzv. limitní strategie řízení (ACC). Zatížení nástrojů je většinou odvozováno z měření výkonu hlavního pohonu (vřetena) stroje. Blok adaptivního řízení je realizován v rámci hardwaru a softwaru CNC systémů.

Hlavním úkolem systémů **aktivní kontroly (AK)** je automatická eliminace vlivu různých faktorů, která negativně ovlivňuje přesnost obrábění a pracovní způsobilost stroje. Moderně koncipované systémy aktivní kontroly pak kromě výše uvedeného přispívají k dalšímu zvyšování produktivity výroby zkracováním přípravných a vedlejších časů. Těchto přínosů je dosahováno využitím AK pro „doseřizování“ nástrojů v pracovní poloze na stroji, indikací opotřebení a poškození nástrojů a využitím systémů AK pro proměřování polotovarů obrobků, upnutých v poloze pro obrábění na stroji a na podkladě výsledků těchto měření provedou modifikaci part-programu (optimalizaci počtu a velikosti hrubovacích úběrů). V závislosti na umístění příslušných snímačů, způsobu měření a vyhodnocování výsledků měření a způsobu provádění korekčních zásahů se systémy AK dělí do dvou základních typů [17]:

- inprocesní;
- postprocesní.

**Inprocesní systémy AK** pracují se snímači umístěnými na stroji, měření je prováděno buď přímo v průběhu řezného procesu, nebo při jeho přerušení příslušné korekční údaje jsou CNC systémem generovány pro právě obráběnou součást. Vlastní inprocesní systémy AK se podle zaměření a způsobu měření dělí na systémy AK, jejichž úkolem je sledovat stav, seřízení a zatížení řezných nástrojů a na systémy, jejichž úkolem je zabezpečovat požadovanou pracovní přesnost stroje a přesnost výroby.

Pro AK stavu a zatížení nástrojů během obrábění jsou používány speciální monitory nebo bloky AK, realizované v rámci CNC systémů (v rámci PLC části). Okamžité hodnoty zatížení nástrojů jsou získávány buď z měření výkonu hlavního pohonu posuvů, nebo ze snímačů instalovaných na stroji. K hlavním nedostatkům této metody patří, že velikost snímané veličiny (výkon, moment, osová síla) je zpravidla ovlivňována rušivými vlivy (pasivní odpory, časové konstanty elektrických prvků aj.). Proto je snaha tyto snímače umisťovat co nejblíže k řeznému břítku, což je ovšem technicky velmi obtížné. AK rozměrů polotovaru, obrobku nebo nástroje v automatickém cyklu přímo na stroji. Toto měření je nedílnou součástí programu obrábění a zahrnuje povely pro měřicí cykly, pro uložení případných korekcí do paměti systému a jejich automatické provedení při následném obrábění. Princip AK je založen na použití měřících sond s využitím stávajícího odměřování obráběcího centra a programového vybavení CNC řídicího systému. Konstrukční provedení snímačů, sond je obdobné jako u snímačů pro souřadnicové měřicí stroje. Opakovaná přesnost měření je obvykle 0,001 mm. Přes řadu zřejmých výhod má AK i své omezení. Při měření může být kontrolovaná plocha obrobku nebo nástroje znečištěná třískami a měření se provádí většinou na tepelně neustáleném obrobku. Proto programujeme proměření jen těch konstrukčně-technologických prvků, na které máme možnost při dalším obrábění aktivně působit [17].

S takto vybaveným strojem mohou být realizovány v automatickém cyklu tyto hlavní činnosti:

- kontrolu polohy referenčních bodů stroje s následující automatickou korekcí počátku souřadnic;
- zjištění polohy obrobku v upínači na začátku každého cyklu;
- proměření některých prvků polotovaru na počátku cyklu s automatickým zavedením korekce programu;
- kontrolu vybraných rozměrů obrobené součásti s následným zavedením korekce programu obrábění;
- kontrola rozměru nástroje, který je po automatické výměně upnut ve vřetenu.

Hlavním vymezením **postprocesních systémů AK** je to, že měření je prováděno na součásti mimo pracovní prostor stroje, většinou ve speciálním měřicím místě (stanici), a příslušné korekční zásahy jsou prováděné při obrábění bezprostředně následující nebo některé další součásti. Měřicí stanice jsou osazeny induktivními snímači, nebo širokorozsahovými snímači s číslicovým výstupem. V měřicích stanicích jsou využívány i progresivní měřicí prvky, jako třeba laser.

Úkolem provozní **technické diagnostiky** je identifikovat vznik poruchy, její místo a příčinu, posoudit její vážnost a v závislosti na závažnosti přerušit v potřebném okamžiku automatický režim práce výrobního zařízení a s výsledky diagnostiky seznámit obsluhu. Komplexní diagnostické systémy zpracovávají jak výstupy systému AK, tak další signály indikující činnost dalších automatizačních uzlů stroje, manipulačních prostředků, řídicích systémů atd. K signalizování stavu (v pořádku – porucha) se používají snímače různých typů a provedení. Ve stavbě CNC obráběcích strojů mají nejčastější využití elektromechanické nebo indukční snímače [17].

### 5.7 Odvod třísek z pracovního prostoru stroje

Rychlý a účinný odvod třísek od stroje je nutno řešit nejen z hlediska zamezení deformací částí obráběcích strojů, vystavených přímému styku s horkými třískami nebo sálavému teplu, ale i z provozně bezpečnostních důvodů. Optimální řešení je, když základní koncepce obráběcího stroje umožňuje gravitační odvod třísek. Dále je nutno dbát na to, aby všechny plochy, na které padají třísky, měly úhly sklonu min. 50°. Pokud to není možné, je nutné využít intenzivního splachování a odplavování třísek. Další otázkou je řešit pokud možno automatický odvod třísek mimo vlastní obráběcí stroj. K tomu účelu lze využít různé typy dopravníků třísek [17]:

- magnetické, rotační nebo pásové, vhodné pro drobné, ale i menší vinuté třísky;
- mechanické, článkové, vhodné pro všechny druhy třísek;
- harpunovité s přímočarým vratným pohybem, které jsou určeny zejména pro ocelové, vinuté třísky;
- šnekové dopravníky s korytem pro drobné a menší vinuté třísky.

## 6. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PÍSTŮ

### 6.1 Požadavky společnosti Ford Motor Company

Automobilka Ford Motor Company vystavila poptávku na roky 2013 až 2017 na celkem 5 920 000 pístů. Počty poptávaných pístů v jednotlivých letech jsou v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Požadovaný počet pístů.

Rok	Počet pístů
2013	440 000
2014	840 000
2015	1 280 000
2016	1 640 000
2017	1 720 000

Požadované počty pístů se mohou samozřejmě během let výroby měnit. Tyto změny jsou řešeny v interních dodatcích smluv mezi KS Kolbenschmidt a Ford Motor Company. Pro naše další kapacitní propočty jsou ovšem tyto podklady zavazující.



## 6.2 Kapacitní propočet výrobní linky

Následující kapacitní propočty se budou vztahovat na výpočet potřebného taktu výrobní linky, ten musí být takový, aby byla zabezpečena výroba i v roce 2017, kdy je požadován největší odběr pístu. K této hodnotě se musí přičíst určité množství pístů, které neprojdou konečnou kontrolou, tzn., že se jedná o neshodný výrobek a nemůže být odeslán zákazníkovi. Oddělení kvality stanovilo přípustnou hranici neshodné výroby na 2,0 % z celkového množství vyrobených pístů. Potřebné vyrobené množství pístů za rok N pak bude:

$$N = N_Z + \left( \frac{N_Z \cdot q}{100} \right) = 1\,480\,000 + \left( \frac{1\,720\,000 \cdot 2,0}{100} \right) = 1\,754\,400 \text{ pístů} \quad (6.1)$$

kde:

$N_Z$  – zákazníkem požadované množství [-];

$q$  – přípustná mez neshodné výroby z celkového objemu výroby [%];

Ve výpočtech se musí uvažovat s ročním efektivním fondem strojního pracoviště  $E_s$ , který vychází z fondu pracovní doby pro daný rok ponížený o tyto položky:

- plánované odstávky (např. odstávky během vánočních svátků);
- neplánované odstávky (poruchy atd.);
- plánované opravy a údržby.

Vzhledem k požadovanému počtu požadovaných pístů musíme uvažovat s nepřetržitým provozem, tj. ve čtyřech směnách po 12 hodinách. Počet dní v roce, na které jsou plánované odstávky, je průměrně 10. Dále dle [22] je počet dní pro plánované opravy a údržby, ale i pro neplánované odstávky (poruchy) asi 6 % z celkového počtu pracovních dní. Efektivní fond strojního pracoviště  $E_s$  potom bude:

$$E_s = D_R - \left( D_R \cdot \frac{O_{PLaN}}{100} \right) - D_{PO} = 365 - \left( 365 \cdot \frac{6}{100} \right) - 10 = 333,1 \text{ dní} \quad (6.2)$$

kde:

$D_R$  – celkový počet dní v roce [dny];

$O_{PLaN}$  – početní dní v roce pro plánované opravy a údržby a neplánované odstávky (poruchy) z celkového počtu dní v roce [%];

$D_{PO}$  – početní dní plánovaných odstávek provozu [dny].

Počet vyrobených pístů za jednu 12-ti hodinovou směnu  $N_{SM}$ :

$$N_{SM} = \frac{N}{p_{SM}} = \frac{1\,754\,400}{666} = 2634,2 \cong 2635 \text{ pístů} \quad (6.3)$$

kde:

$p_{SM}$  – počet směn v roce (333 dní po 2 směnách) [-].

Takt výrobní linky  $t$  potom bude:

$$t = \frac{3600 \cdot E_s \cdot s_s \cdot \eta}{N} = \frac{3600 \cdot 333 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 0,85}{1\,754\,400} = 13,9 \text{ s} \cdot ks^{-1} \quad (6.4)$$

kde:

$s_s$  – směnnost strojního pracoviště [ $\text{hod} \cdot \text{směna}^{-1}$ ] (u automatické linky může být uvažováno 12 hodin ve směně, tj. 2 x 12 hodin denně);

$\eta$  – součinitel časového využití linky (uvažuju 85 % využití linky);

Aby byla výrobní linka schopna vyrobit požadované množství 1 754 400 pístů za rok, musí být schopna vyrobit píst za 13,9 s.

V letech 2013 až 2016, kdy by linka nebyla plně využita, může být tento problém řešen takto:

- převedení na jednosměnný provoz, tj. 8,5 hod denně (nevýhodné, neboť potřebujeme, aby linka vyráběla nepřetržitě, kvůli návratnosti investic);
- vyrábět na této lince jiné písty, tj. přeseřizovat v průběhu roku na jiné, typově podobné písty (musí zajistit plánovací oddělení ve spolupráci s oddělením technologie).

### 6.3 Analýza procesu výroby odlitku jakožto polotovaru pro výrobní linku

Odlitek jako polotovar pro obráběcí výrobní linku je odléván na stroji Fata FMP č. 4 a to gravitačně do ocelových kokil, tzn., že odlitek má povrch bez abrazivních částic. Kokila je konstruována s dvěma dutinami, takže se odlévají najednou dva odlitky, které mají společnou vtokovou soustavu. Základní parametry procesu odlévání jsou uvedeny v tab. 6.2.

Tab. 6.2 základní parametry procesu výroby odlitků.

Parametr	Hodnota
Teplota taveniny	810±10 °C
Tlak	atmosférický
Čas plnění formy	3 s
Čas cyklu	96 s
Odplyňování taveniny	směs plynů Cl a N (rotorové zařízení)
Hmotnost odlitku	1015 g
Hmotnost taveniny v lici peci	300 kg

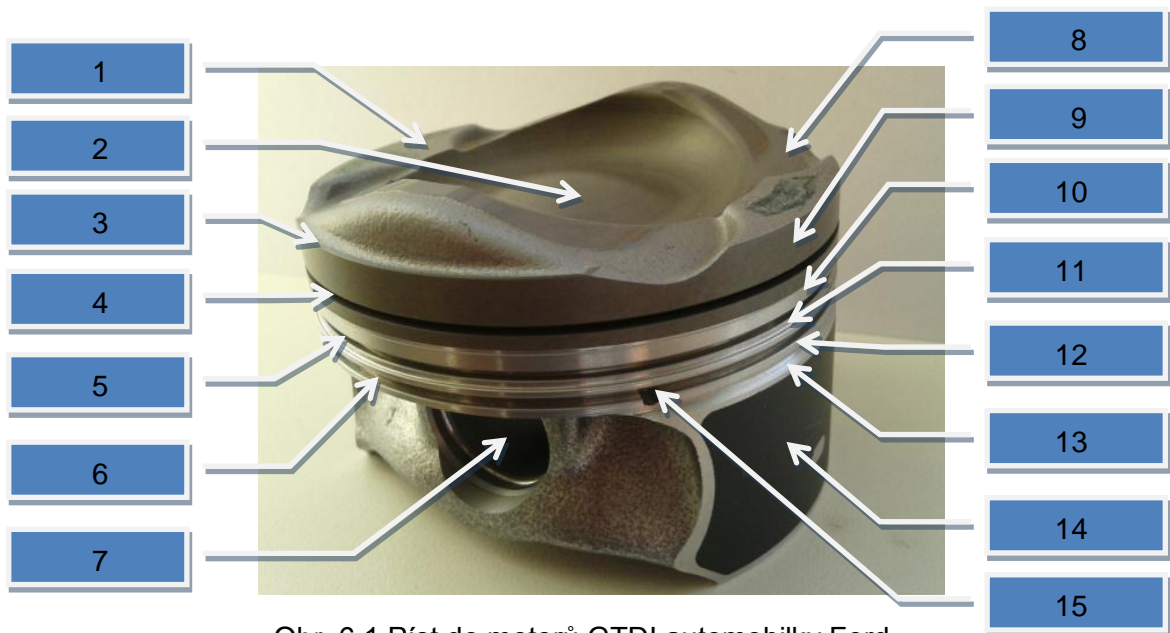
Vtoková soustava a technologické nálitky se oddělují od odlitku pomocí kotoučových pil, které jsou umístěny přímo na slévárně. V případě, že se na odlitku objevují zatekliny v místech dělicích rovin z důvodu nedokonalého složení kokily, odstraňují se tyto zatekliny pilníky.

Takto připravený odlitek prochází dle interní normy následujícím tepelným zpracováním:

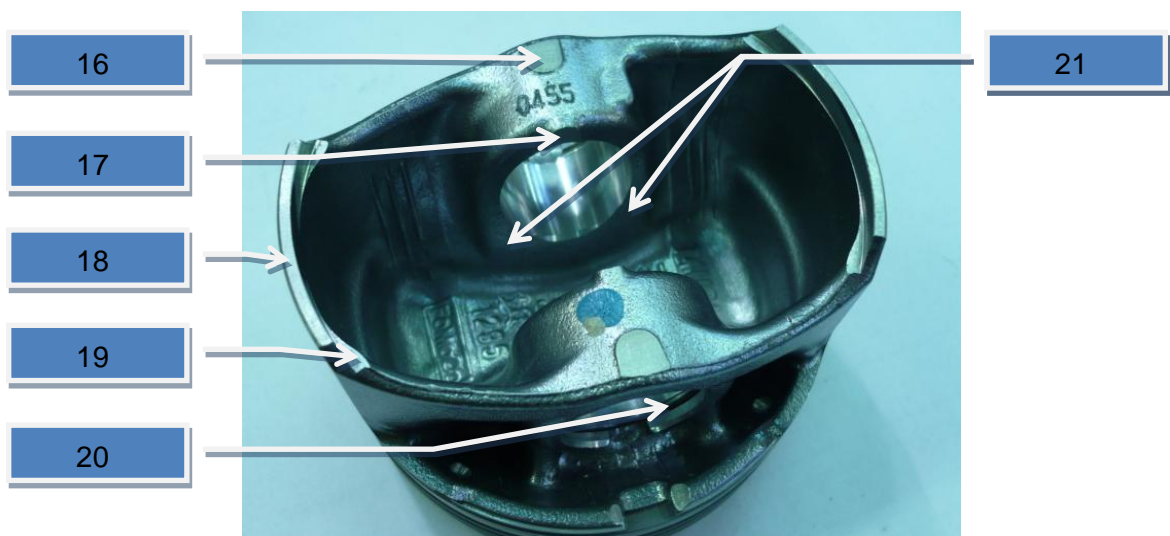
- bezprostředně po vyjmutí odlitku z kokily se odlitek ponoří do poloviny čepního otvoru do vody (teplota odlitku, teplota vody a doba výdrže ve vodě není v interní normě uvedena);
- dále výdrž odlitků 5 hod. na teplotě  $230 \pm 5$  °C, (v interní normě je tento způsob tepelného zpracování nazván jako kalení a popuštění).

Dále je v této normě uvedené rozmezí dovolené tvrdosti odlitku a to 110 – 140 HB.

## 6.4 Popis funkčních ploch pístu



Obr. 6.1 Píst do motorů GTDI automobilky Ford.



Obr. 6.2 Vnitřní (předlitý tvar) pístu.

- |  |  |
|--|--|
| 1. - dno;                              | 10. - první můstek;                    |
| 2. - spalovací komůrka;                | 11. - druhý můstek;                    |
| 3. - hrana hlavy;                      | 12. - třetí můstek;                    |
| 4. - první drážka pro těsnící kroužek; | 13. - vrchní hrana pláště;             |
| 5. - druhá drážka pro těsnící kroužek; | 14. - plášť;                           |
| 6. - třetí drážka pro stírací kroužek; | 15. - odmazávací otvor;                |
| 7. - čepní otvor                       | 16. - druhá pomocná centráž;           |
| 8. - ventilové vybrání (předlité)      | 17. - první pomocná centráž;           |
| 9. - hlava;                            | 18. - zakončení a spodní hrana pláště; |
|  | 19. - hlavní centráž;                  |
|  | 20. - drážka pro pojistný kroužek;     |
|  | 21. - vyrovnávací plocha, tzv. E-míra. |

## 6.5 Návrh obráběcích strojů

### 6.5.1 Mazak INTEGREX 100-IV ST

Jedná se o multifunkční obráběcí centrum s automatickou výměnou nástrojů, osou Y a B pro soustružení, frézování a vrtání. Centrum má dvě vřetena a spodní revolverovou hlavou. Stroj je na obr. 6.3, pracovní prostor stroje resp. hlavní vřeteno a předseřizovací zařízení nástrojů (Tool Eye) na obr. 6.4. Druhé vřeteno, spodní revolverová hlava a nástrojové vřeteno na obr. 6.5. Základná technická data poté v tab. 6.3.

Stroj jsem vybral jednak díky dobrým zkušenostem s obráběcími stroji Mazak, jelikož řadu starších typů od této firmy ve společnosti KS Kolbenschmidt již využíváme a to především v poloautomatických výrobních linkách. Dalším důvodem je velmi obsáhlé standardní příslušenství, zaškolení obsluhy na stroji, účast dvou osob na programovacím kurzu MAZATROL a co je velmi důležité, tak servisní místo v ČR, což zajišťuje zásah servisu během několika hodin. Mezi další výhody patří neobvyklá všestrannost v kompletním obrobení na jedno upnutí, automatickým přepnutím obrobku mezi vřeteny. A dále možností frézování v obou vřetenech, libovolném osazení zásobníku nástrojů pevnými, nebo poháněnými nástroji. Dále má toto centrum následující tzv. inteligentní funkce:

- Inteligentní teplotní štít (ITS) - monitoruje teploty na důležitých místech stroje a vypočítává a nastavuje kompenzace teplotní roztažnosti tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší přesnosti obrábění;
- Inteligentní bezpečnostní štít (ISS) - prevence kolizí pokud obsluha ručně pohybuje osami při seřizování či měření nástroje;
- Aktivní kontrola vibrací (AVC) - redukce vibrací potlačuje vznik vibrací při velmi přesném polohování všech os a zkracuje čas obrábění. Funkce snímá vibrace břitu nástroje, napomáhá tak k dosažení vysoké kvality obrábění a zároveň zabraňuje nadměrnému opotřebování břitu nástroje;
- Hlasový poradce MAZAK (MVA) - slovy informuje, které ovládací prvky byly aktivovány a upozorňuje obsluhu na opatrnost při ručním ovládání. Tato funkce přispívá ke snížení chyb obsluhy.

Ve standardním příslušenství je zahrnuto, mimo jiného a výše uvedeného:

- dvojitý nožní přepínač pro otvírání / zavírání sklíčidla;
- zásobník nástrojů;
- kompletní chladicí zařízení;
- CNC řídicí systém Mazatrol Matrix;
- kontrola drah nástroje programu během obrábění;
- kontrola životnosti nástroje;
- držáky pro soustružnické nože, vyvrtávací tyče a pouzdra pro vrtáky různých velikostí;
- sadu seřizovacích nástrojů, návodů atd.



Obr. 6.3 Obráběcí centrum Mazak INTEGREX 100-IV ST [26].



Obr. 6.4 Hlavní vřeteno a „tool eye“ [27].



Obr. 6.5 Druhé vřeteno, spodní revolverová hlava a nástrojové vřeteno [27].

Tab. 6.3 technická data obráběcího centra Mazak INTEGREX 100-IV ST.

<b>Pracovní prostor stroje</b>	
Max. soustružený Ø	545 mm
<b>Vřetena</b>	
Rozsah otáček	35-6000 ot/min
Výkon motoru	11 (30 min.) kW
Max. krouticí moment	161 (15 min.) N·m
Indexování (osa C)	0-360 po 0,0001 °
<b>Nástrojová hlava - poháněné nástroje</b>	
Výkon motoru	5,5 (20%ED) kW
Max. krouticí moment	49 (20%ED) N·m
Rozsah otáček	15-12000 ot/min
Upnutí nástroje	KM63/CAPTO C6/CAT40
<b>Spodní revolverová hlava</b>	
Počet nástrojových míst	9
Držák soustružnického nože	20x20x100 mm
Držák vyvrtávací tyče (Ø)	25 mm
Čas indexace, 1 krok	0,14 s
<b>Zásobník nástrojů</b>	
Provedení	bubnový
Počet nástrojových míst	20
Průměr nástroje	90 mm
Maximální délka nástroje	200 mm
Čas výměny nástroje (nástroj-nástroj)	1,2 s
<b>Dráha pojezdů</b>	
Osa X / Y / Z	410/140/805 mm
Osa X2 / Z2 (spodní rev. hlava)	220/780 mm
Osa W (2. vřeteno)	795 mm
Otáčení v ose B (nástr. hlava), rozlišení	-30 až 195 °
<b>Rychlost pojezdů</b>	
Rychloposuv v ose X / Y / Z	30/26/33 m/min
Rychloposuv v ose X2 / Z2	30/33 m/min
Rychloposuv v ose W	30 m/min
Rychloposuv v ose C	555 ot/min
Pracovní posuv os X, / Y / Z	0-2 m/min
Pracovní posuv osy C	1-2000 °/min
<b>Chlazení</b>	
Objem chladicí kapaliny	290 L
Tlak čerpadla	5 bar
<b>Strojí data</b>	
Příkon	35,2 kVA
Provozní napětí, frekvence proudu	400 V, 50 Hz
Stlačený vzduch - tlak, průtok	5 bar, 700 L/min
Šířka	3075 mm
Hloubka	2330 mm
Výška	2443 mm
Hmotnost	7790 kg

### 6.5.2 Weisser VERTOR C

Jedná se o kompaktní jednovřetenový vertikální soustruh stavebnicové konstrukce se suporty pracujících ve dvou osách (X, Z). Je vhodný pro obrábění všech malých strojních součástí až do průměru 150 mm.

Je určen pro střední a velké dávky a dle požadavků je dodáván ve verzi s manuálním nebo automatickým zakládáním obrobků.

VERTOR C, viz obr. 6.6, se používá zejména pro obrábění pístů. Zde jsou písty obráběny po obvodu (plášť a hlava) s ovalitou. Stroj s pravým a levým suportem umožňuje:

- optimální využití dostupného prostoru v místě instalace;
- krátké manipulační vzdálenosti pro obsluhující personál;
- optimální strukturování materiálového toku.

VERTOR C je uspořádán tak, že umožňuje suché obrábění a strmé plochy vnitřního prostoru umožňují vynikající odvod třísek z pracovního prostoru stroje.

Základní technické parametry jsou v tab. 6.4. Pracovní prostor stroje je na obr. 6.7.

Tab. 6.4 Základní technické parametry soustruhu Weisser VERTOR C

<b>Pracovní prostor stroje</b>	
Max. soustružený Ø	150 mm
Max. délka tyče	200 mm
<b>Vřeteno</b>	
Rozsah otáček	3000 ot/min
Výkon motoru (100% / 40% využití)	18/23 kW
Max. krouticí moment	115 N·m
<b>Dráha pojezdů</b>	
Osa X	230 mm
Osa Z	230 mm
<b>Rychlost pojezdů</b>	
Rychloposuv v ose X	24 m/min
Rychloposuv v ose Z	24 m/min
<b>Strojní data</b>	
Šířka	1700 mm
Hloubka	1800 mm
Výška	2700 mm
Hmotnost	7000 kg





Obr. 6.6 Weissert VERTOR C.



Obr. 6.7 Pracovní prostor vertikálního soustruhu Weissert VERTOR C.

### 6.5.3 FBM 1 (Feinbohr machin)

Jedná se o vyvrtávací stroj, navržený a zkonstruovaný mateřskou firmou KS Kolbenschmidt GmbH v Neckarsulmu. Tento stroj byl navržen proto, že konvenční vyvrtávací stroje nezvládají vyvrtat čepní otvor s požadovaným tvarem s rozměrovými a geometrickými tolerancemi. Čepní otvor je totiž zvláštní svým oválem a rozevírajícím se tvarem, tzv. formbolo.

Stroj má jeden vřeteník. Vyvrtávací tyč, upnuta do pracovního vřetena letmo je krátká a velice tuhá. Posuvový pohyb provádí vyvrtávací tyč, která je vedena pomocí pinole.

Základní technické údaje jsou v tab. 6.5. Pohled na stroj je na obr. 6.8, pracovní prostor stroje na obr. 6.9.

Tab. 6.5 Základní technické údaje stroje FBM 1.

<b>Osa X1 a W1</b>	
Otáčky	3000 min <sup>-1</sup>
Moment	4,3 Nm
<b>Osa Z1</b>	
Otáčky	3000 min <sup>-1</sup>
Moment	10,3 Nm
<b>Energetická data</b>	
Jmenovitý výkon	42 kW
Provozní napětí	400 V
Tlakový vzduch	6 bar
<b>Strojní data</b>	
Šířka	3350 mm
Hloubka	2000 mm
Výška	2300 mm
Hmotnost	5500 kg



Obr. 6.8 Vyrťávací stroj pro čepní otvory FBM 1.



Obr. 6.9 Pracovní prostor vyrťávačky FBM 1.

## 6.6 Návrh manipulační techniky

### 6.6.1 Návrh dopravníku pro odlitky

Tento dopravník bude umístěn před výrobní linkou a bude sloužit jako zásobník odlitků pro obráběcí stroje.

Pro tyto účely volím paletový oběžný dopravník, který je využíván právě jako zásobník surových dílů/polotovaru pro rotační i nerotační díly s různými rozměry. Základem je řetězový dopravník, na kterém jsou unášeny technologické palety pomocí unášeců, které jsou pevně spojeny s řetězem. Jedno z možných řešení dopravníku je na obr. 6.10. Tento dopravník má následující výhody:

- uspořádané a tříděné přivádění jednotlivých odlitků;
- přesně definovaná poloha odlitku pomocí upínacích a středících prvků na paletě;
- uzavřená odtoková vana pod systémem;
- přeseřazení se děje buď výměnou celých palet, nebo výměnou upínacích a středících prvků na paletě;
- jednoduché nakládání obsluhou z přistaveného kontejneru;
- robustní konstrukční provedení, odolné proti opotřebení, s kalenými pantovými řetězy.



Obr. 6.10 Paletový oběhový dopravník.

### 6.6.2 Návrh průmyslového robota

Průmyslový robot bude zakládat odlitky z horizontálního třídícího dopravníku do vřeten obráběcích stojů. Dále vykládat obrobené obrobky ze strojů a podkládat na palety.

Volím průmyslového robota od firmy Fanuc, který je největším výrobcem průmyslové automatizace a robotů na světě.

Průmyslový robot Fanuc M-20iA/10L je ideální pro aplikace zakládání a odebírání obrobků. Mezi jeho další charakteristiky patří:

- nejmenší poloměr kolizního prostoru zápěstí (max. 120 mm) ve své třídě, snazší přístup do úzkých míst;
- vnitřní kabelové vedení velmi usnadňuje obsluhu a údržbu a zajišťuje vyšší životnost kabelů;
- nehrozí žádné riziko kolize a poškození kabelu při práci u strojů, maximalizovaný rozsah rotace zápěstí;
- nejrychlejší robot ve své třídě;
- umožňuje maximální využití pracovního prostoru robotu;
- snížené riziko poruchovosti;
- vysoká přesnost a minimální vůle v převodech.

Základní technická data jsou v tab. 6.6. Na obr. 6.11 je popisovaný průmyslový robot Fanuc M20iA/10L. Na obr. 6.12 je vidět využití tohoto robota při zakládání resp. odebírání obrobku ze stroje a na obr. 6.13 je vidět rozsah pohybu.

Tab. 6.6 Technická data průmyslového robota Fanuc M20iA/10L

Parametr	Hodnota
Řízené osy	6
Řízení	R-30iA
Maximální zatížitelnost zápěstí	10 kg
Opakovatelnost	0,1 mm
Váha	250 kg
Dosah	2009 mm

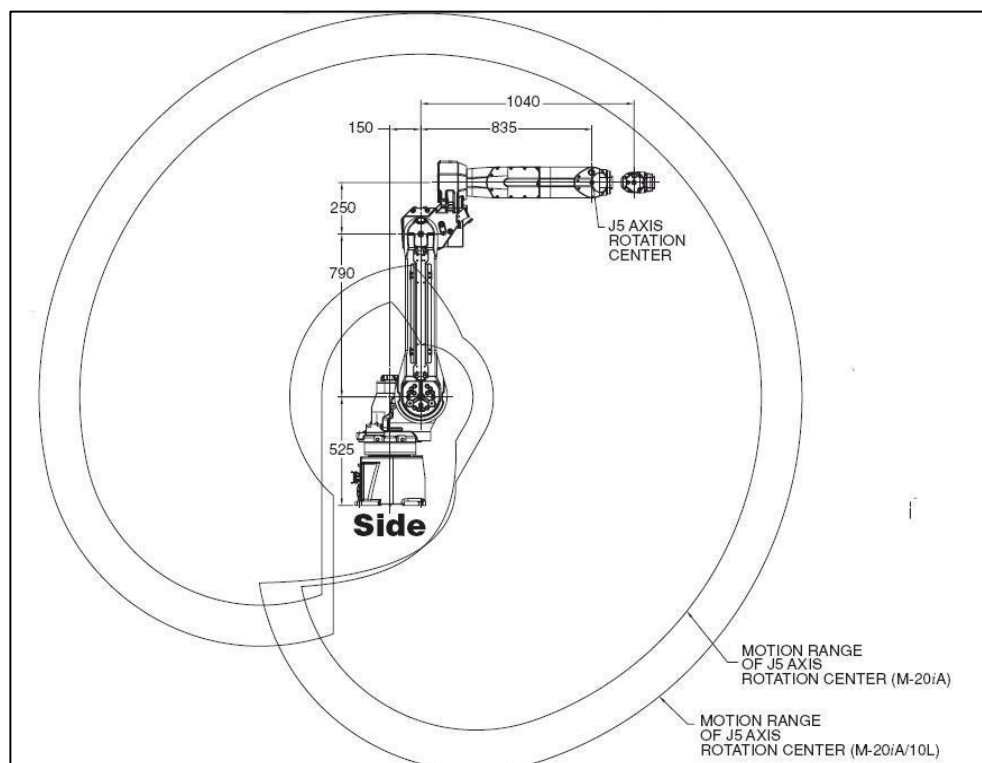




Obr. 6.11 Fanuc M20iA/10L [23].



Obr. 6.12 Využití robota v praxi [24].



Obr. 6.13 Rozsah pohybu průmyslového robota Fanuc M20iA/10L [25].

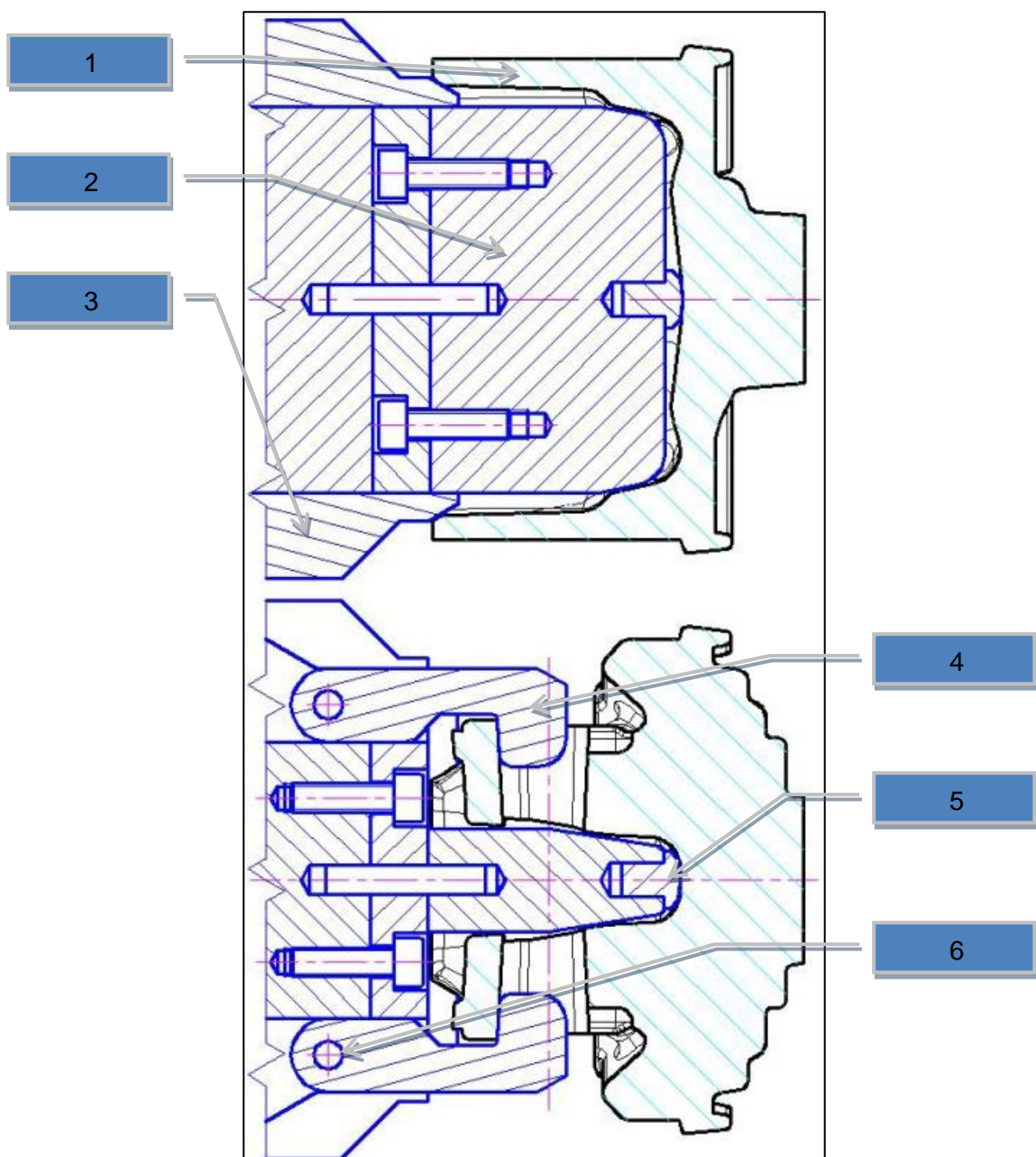
## 6.7 Zkrácený technologický postup

KS Kolbenschmidt Czech Republic, a.s.			Zkrácený technologický postup		List č. / listů 1/1
Materiál: KS 1295			Součást: 40833000+		Počet kusů na sm.: 2635
Obrobitelnost: 9d			Č.výkresu: 11100.131959.00		
			Polotovary: odlitek 079 199		Dávka: 200
Op.	Stroj	Ustavení	Úsek		t <sub>AS</sub> [s]
10	Mazak	Vřeteno č. 1	Spalovací komůrka na hrubo		2,8
10	Mazak	Vřeteno č. 1	Hlava a plášť na hrubo		1,1
10	Mazak	Vřeteno č. 1	První, druhý a třetí můstek na čisto		0,1
10	Mazak	Vřeteno č. 1	Spalovací komůrka na čisto		2,4
10	Mazak	Vřeteno č. 1	Odmazávací otvory na čisto		2,4
10	Mazak	Vřeteno č. 1	Dno na čisto		2,8
10	Mazak	Vřeteno č. 1	Hrana komůrky na čisto		10,5
20	Mazak	Vřeteno č. 2	Čepní otvory na hrubo , vnější a vnitřní sražení		7,6
20	Mazak	Vřeteno č. 2	Drážky pro pojistný kroužek na čisto		4,2
20	Mazak	Vřeteno č. 2	První pomocná centráž na čisto		0,2
20	Mazak	Vřeteno č. 2	Druhá pomocná centráž na čisto		0,2
20	Mazak	Vřeteno č. 2	Hlavní centráž		0,4
20	Mazak	Vřeteno č. 2	Zakončení pláště		0,2
30	Weisser	Vřeteno	Drážky na hrubo a na čisto		2,8
30	Weisser	Vřeteno	Plášť, hlava, sražení hran drážek na čisto		3,5
40	FBM 1	Opěrná des.	Čepní otvor na čisto		10,0
Celkem					51,2
Změny					
Op.	Stroj	Ustavení	Úsek	Dříve	Nyní
Datum: 1.5.12		Vypracoval: Vilhelm		Schválil:	

## 6.8 Detailní rozpracování technologického postupu na úseky

### 6.8.1 Upnutí odlitku v operaci č. 10

Úchopová hlavice průmyslového manipulátoru uchopí odlitek 1, který má již definovanou polohu z hlediska natočení kolem své osy, za hlavu a ustaví jej vnitřním (předlitým) tvarem přes klín 2 na odpružený prstenec 3. Po té upínací kladívka 4, upnou odlitek za předlitý čepní otvor. Následuje stažení odlitku a prstence až do polohy, kdy se odlitek opře o osazený kolík 5. Upínací kladívka se pohybují v drážce prstence přes čep 6, který je veden tvarovými drážkami. Schéma upnutí odlitku v prvním vřetenu je na obr. 6.14.



Obr. 6.14 Upnutí odlitku v prvním vřetenu.



**Úsek č. 1 – obrábění komůrky****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: čelní tvarové soustružení;
- operace obrábění: na hrubo;
- stupeň přesnosti: IT11 – IT12;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost (proměnlivá)  $v_c = 0 - 1300 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 3 \times 6 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,25 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 2,8 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

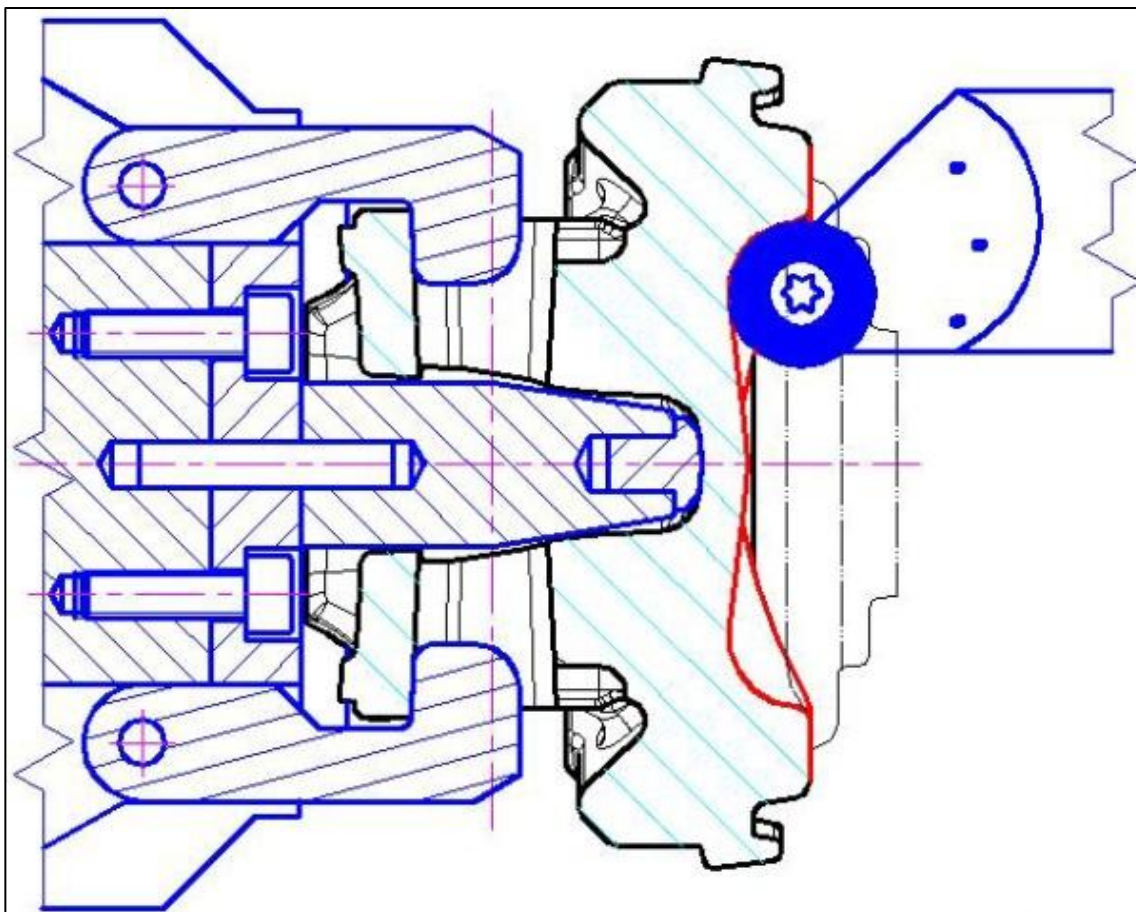
- CoroTurn 107 HP pro čelní a podélné soustružení s vysokotlakým přívodem řezné kapaliny, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SRXCR 2020H 16.

**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107.
- třída s diamantovým povlakem.
- v případě nízké životnosti nástroje, použijeme VBD třídy CD10-N10 z polykrystalického diamantu.
- ISO kód: RCEH 1606M0R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod vysokým tlakem;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.15 Obrábění spalovací komůrky na hrubo.

**Úsek č. 2 – obrábění pláště a hlavy****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vnější podélné soustružení;
- operace obrábění: na hrubo;
- stupeň přesnosti: IT9 – IT10;
- drsnost: Ra 6,3.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 1488,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří (proměnlivá)  $a_p = 2,3 - 4,5 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,5 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 1,1 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

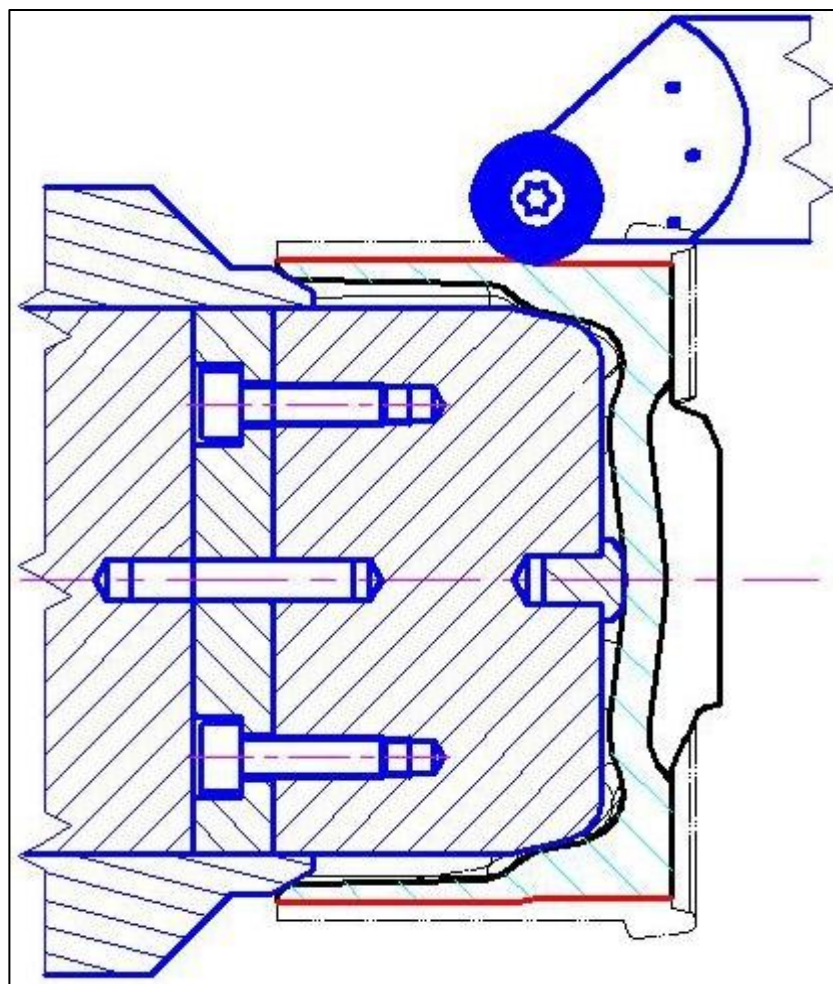
- CoroTurn 107 HP pro čelní a podélné soustružení s vysokotlakým přívodem řezné kapaliny, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SRXCR 2020H 16.

**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107.
- třída s diamantovým povlakem.
- v případě nízké životnosti nástroje, použijeme VBD třídy CD10-N10 z polykrystalického diamantu.
- ISO kód: RCEH 1606M0R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod vysokým tlakem;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.16 Obrábění hlavy a pláště na hrubo.

**Úsek č. 3 – obrábění prvního, druhého a třetího můstku****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vnější zapichování;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT11– IT12;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 1470,3 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří prvního můstku  $a_{p1} = 3,33 \text{ mm}$ ;
- šířka záběru ostří druhého můstku  $a_{p2} = 1,08 \text{ mm}$ ;
- šířka záběru ostří třetího můstku  $a_{p3} = 1,40 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,2 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 0,1 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

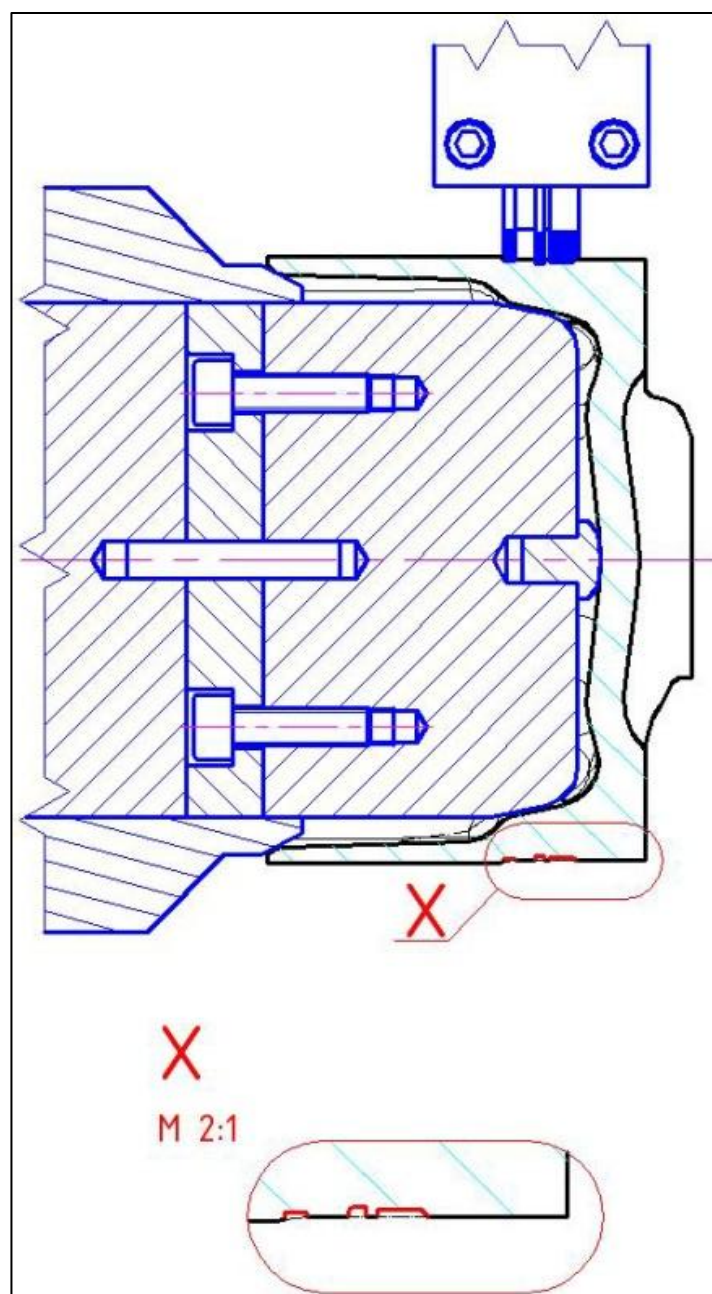
- nástrojový držák CoroCut vyrobený na zakázku (pro 3 VBD), fa. Sandvik Coromat;

**Nástroj:**

- VBD CoroCuT 2 (dva břity) třídy H13A s pozitivní základní geometrií GM, fa. Sandvik Coromat;
- třída z nepovlakovaného karbidu pro obrábění neželezných kovů;
- výroba VBD na zakázku: pro obrábění prvního můstku (levá část břitu broušena pod úhlem  $45^\circ$ ) a pro obrábění druhého můstku (poloměr pravé špičky destičky  $R = 0,4 \text{ mm}$ );

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod tlakem 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.17 Obrábění prvního, druhého a třetího můstku na čisto.

**Úsek č. 4 – obrábění spalovací komůrky****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: čelní tvarové soustružení;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT9 – IT10;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost (proměnlivá)  $v_c = 0 - 1300 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,2 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,2 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 2,4 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

- CoroTurn 107 HP pro čelní a podélné soustružení s vysokotlakým přívodem řezné kapaliny, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SVD CR 2020H11

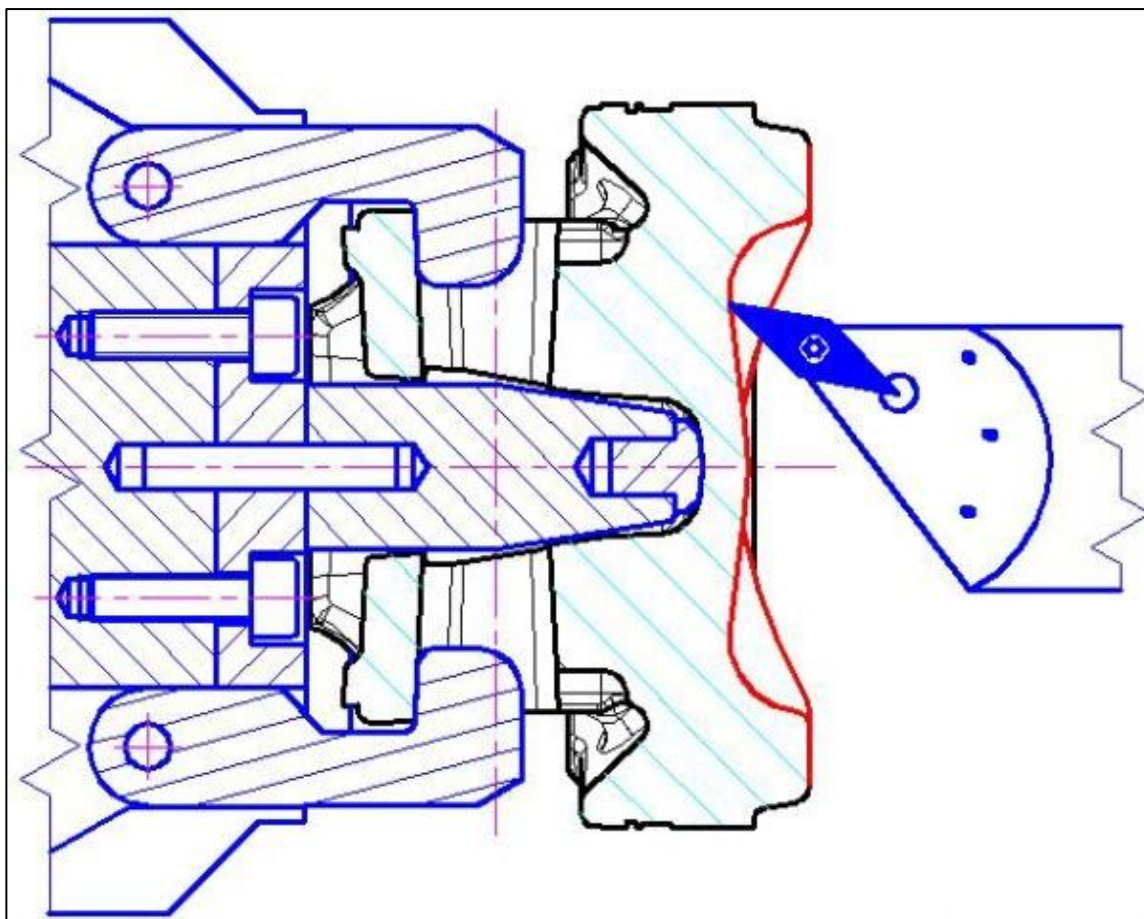
**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107.
- třída s diamantovým povlakem.
- v případě nízké životnosti nástroje, použijeme VBD třídy CD10-N10 z polykrystalického diamantu.
- ISO kód: VCEH 110408R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod vysokým tlakem;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.





Obr. 6.18 Obrábění spalovací komůrky na čisto.



**Úsek č. 5 – obrábění odmazávacích otvorů****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: nástrojové vřeteno;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vrtání;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT15;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky nástrojového vřetena  $n = 11\,000\text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 103,7\text{ m.min}^{-1}$ ;
- hloubka záběru ostří  $a_p = 1,5\text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,1\text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 4 \times 0,6 = 2,4\text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

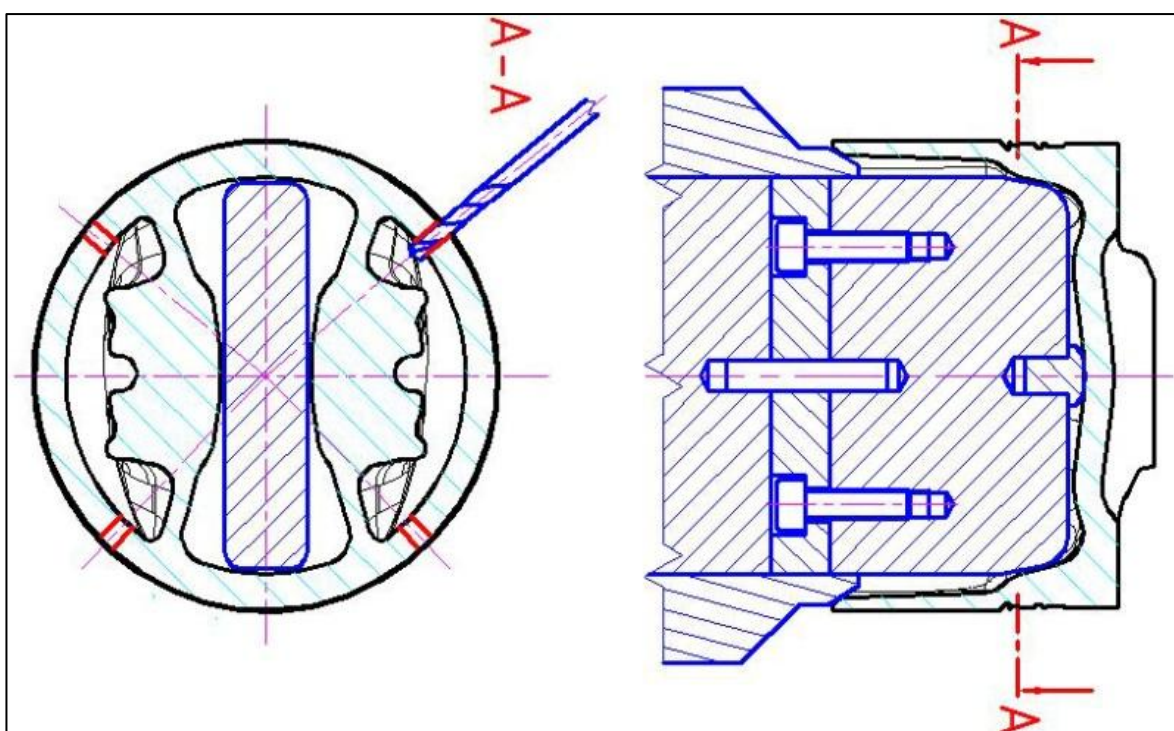
- hydromechanické sklíčidlo CoroGrip s válcovou kleštinou utěsněném provedení, fa. Sandvik Coromat.

**Nástroj:**

- CoroDrill Delta – C R840 třídy GC N20D,  $\phi\ 3\text{mm}$ ;
- monolitní karbidový vrták s PVD povlakem TiAlN.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.19 Obrábění odmazávacích otvorů na čisto.

**Úsek č. 6 – obrábění dna****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: nástrojové vřeteno;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: čelní frézování;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT11 - IT12;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 7\,000\text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 549,8\text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří (proměnná)  $a_p = 0,0 - 4,0\text{ mm}$ ;
- posuv na zub  $f_z = 0,20\text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 2,8\text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

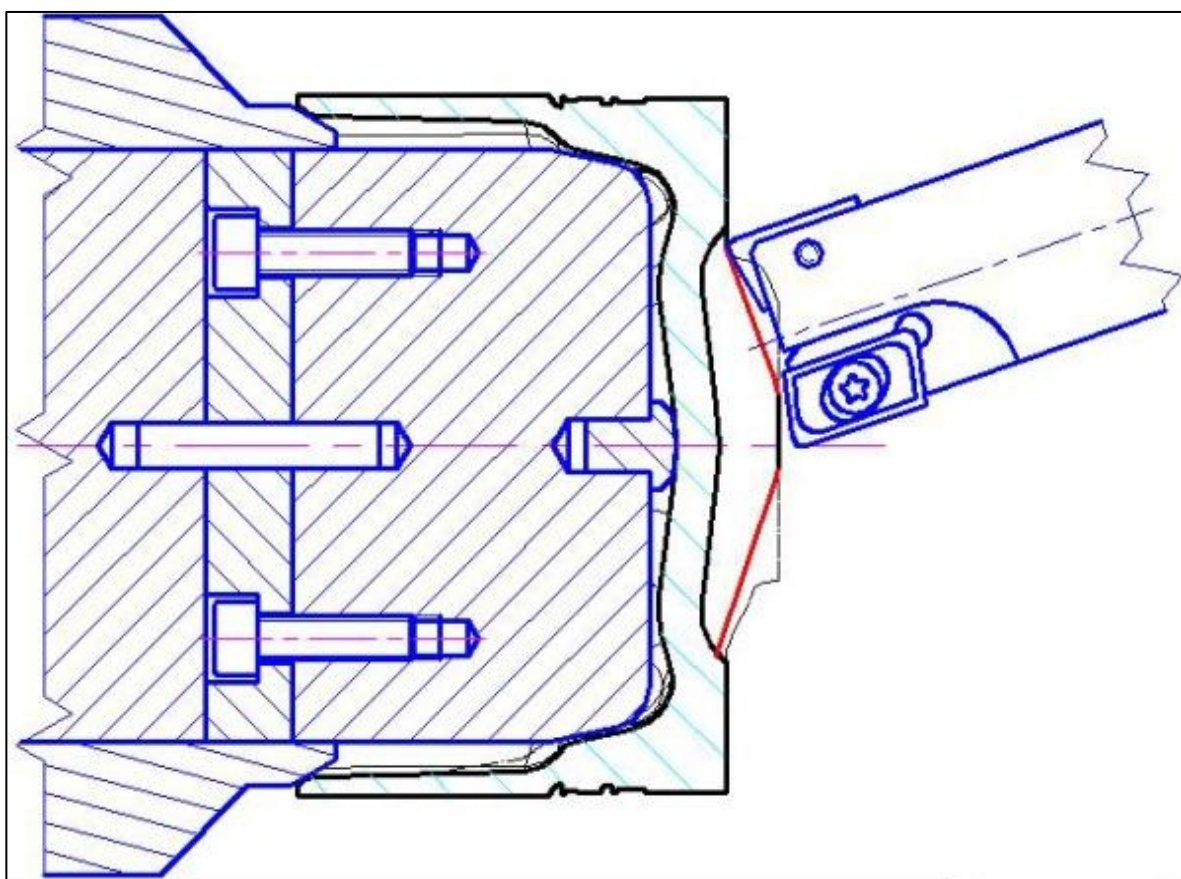
- hydromechanické sklíčidlo CoroGrip, fa. Sandvik Coromat.

**Nástroj:**

- CoroMill 790 s válcovou stopkou pro čelní tvarové frézování,  $\varnothing 25\text{ mm}$ , fa. Sandvik Coromat;
- VBD třídy H13A s geometrií H-NL určená pro obrábění hliníku a pro čelní frézu CoroMill 790;
- nepovlakovaný slinutý karbid třídy N15.

**Chlazení:**

- vnější přívod řezné kapaliny pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.20 Obrábění dna na čisto.

**Úsek č. 7 – obrábění komůrky - hrany****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: první vřeteno;
- obrábí: nástrojové vřeteno;
- operace č.: 10.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: tvarové čelní frézování;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT11 - IT12;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 8\,000\text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 628,3\text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří (proměnná)  $a_p = 0,0 - 1,3\text{ mm}$ ;
- posuv na zub  $f_z = 0,20\text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 10,5\text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

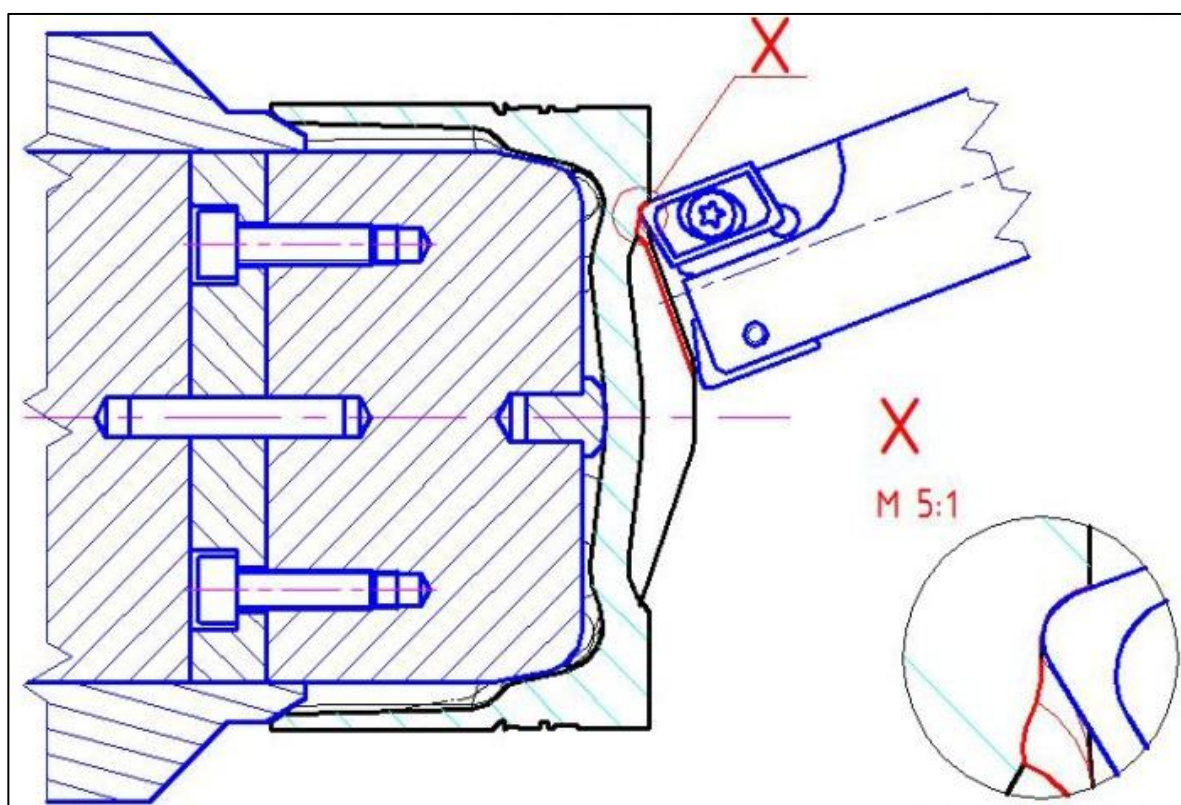
- hydromechanické sklíčidlo CoroGrip, fa. Sandvik Coromat.

**Nástroj:**

- CoroMill 790 s válcovou stopkou pro čelní tvarové frézování,  $\varnothing 25\text{ mm}$ , fa. Sandvik Coromat;
- VBD třídy H13A s geometrií H-NL určená pro obrábění hliníku a pro čelní frézu CoroMill 790;
- nepovlakovaný slinutý karbid třídy N15.

**Chlazení:**

- vnější přívod řezné kapaliny pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



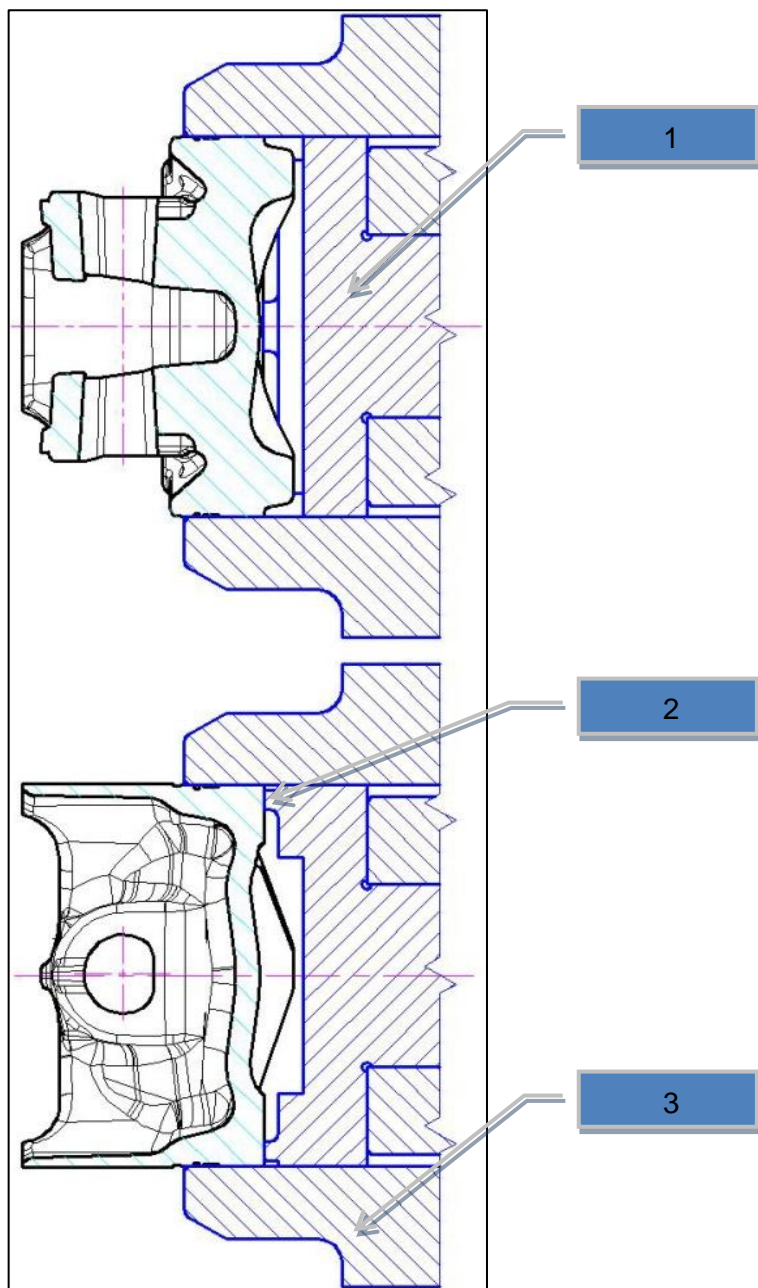
Obr. 6.21 Obrábění hrany komůrky na čisto.



### 6.8.2 Upnutí pístu v operaci č. 20

Po dokončení operace č. 20 na druhém vřetenu, odebere manipulátor obrobený píst z tohoto vřetena a následně dojde k pístu, který je upnutý v prvním vřetenu, píst mu odebere a vrátí se zpět do původní pozice.

Dosedací destička 1, která je odpružená, se opře o předlité dno pístu 2, které je naší technologickou a konstrukční základnou. Tím se zajistí správné ustavení pístu ve druhém vřetenu. Po té následuje odepnutí kladívkového upínače na prvním vřetenu a upnutí pístu pomocí speciálního sklíčidla 3 na vřetenu druhém. Přesné natočení pístu kolem své osy je již zajištěno vyrovnaním odlitku na prvním vřetenu pomocí kladívkového upínače. Toto je důležité, kvůli správnému vyvrtání čepního otvoru. Schéma upnutí ve druhém vřetenu je na obr. 6.22.



Obr. 6.22 Upnutí pístu ve druhém vřetenu.

**Úsek č. 8 – obrábění čepního otvoru, sražení vnitřní a vnější hrany****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: druhé vřeteno;
- obrábí: nástrojové vřeteno;
- operace č.: 20.

**Charakteristika obráběného úseku:**

- technologie obrábění: vyvrtávání;
- operace obrábění: na hrubo;
- stupeň přesnosti: IT8 – IT9;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky řezného nástroje  $n = 11\,000\text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 713,6\text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří (proměnlivá)  $a_p = 1,3 - 3,3\text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,1\text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 2 \times 3,8 = 7,6\text{ s}$  (2x čepní otvor).

**Nástrojový systém:**

- hydromechanické sklíčidlo CoroGrip, fa. Sandvik Coromat.

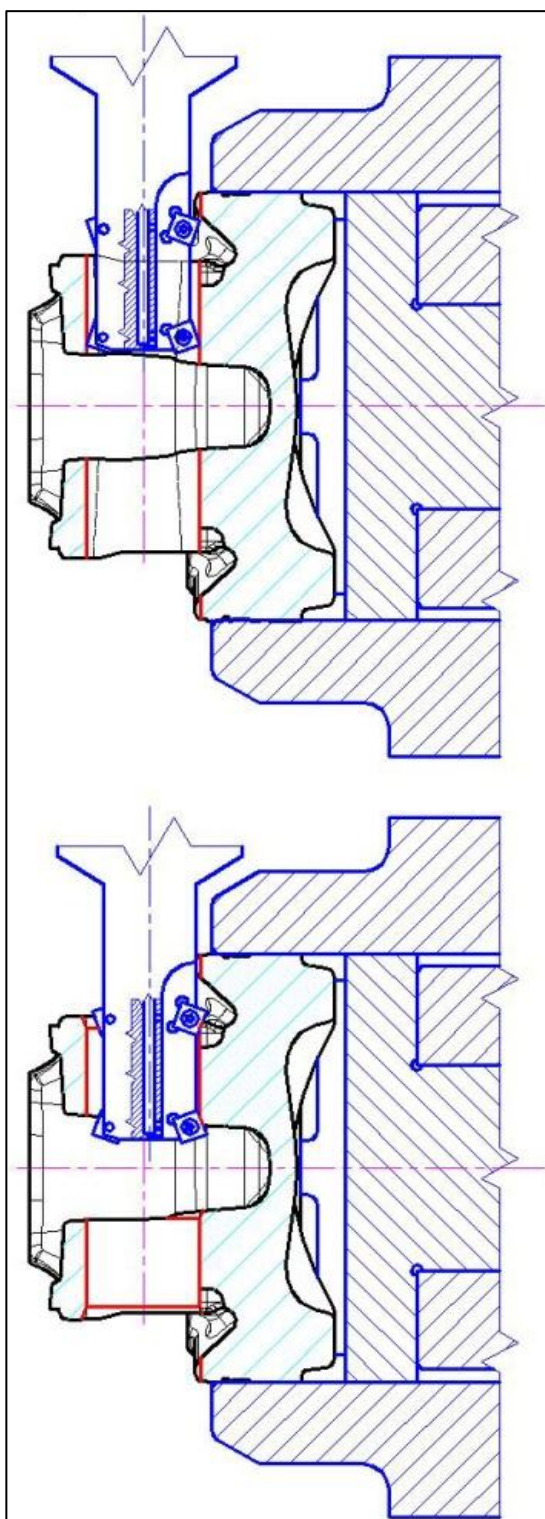
**Nástroj:**

- CoroDrill 880 se stopkou ISO 9766, fa. Sandvik Coromat;
- speciální na zakázku vyrobený vrták pro vyvrtání předlitého otvoru, zkosení vnitřní a vnější hrany (pomocí kruhové interpolace);
- vrtání s radiálně seřízeným vrtákem pomocí nastavitelného vrtáku, které zajistí užší výrobní toleranci otvoru, zároveň eliminuje výrobní toleranci vrtáku a VBD. Maximální korekce průměru otvoru 1,4 mm, nastavitelná v krocích po 0,05 mm;
- VBD třídy GC4044 s pozitivní geometrií LM a čtyřmi břity pro vrtáky CoroDrill 880, velikost 04, fa. Sandvik Coromat;
- VBD ze slinutého karbidu s PVD povlakem TiAlN;
- v případě nízké životnosti nástroje, použijeme VBD třídy CD10-N10 z polykrystalického diamantu.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny nástrojem pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.





Obr. 6.23 Vytváření čepního otvoru na hrubo a sražení vnější a vnitřní hrany čepního otvoru na čisto.

**Úsek č. 9 – obrábění drážky pro pojistný kroužek****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: druhé vřeteno;
- obrábí: nástrojové vřeteno;
- operace č.: 20.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: planetové vnitřní frézování (využití kruhové interpolace);
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT11 – IT12;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky řezného nástroje  $n = 4000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 287 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 1,6 \text{ mm}$ ;
- posuv na zub  $f = 0,15 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 2 \times 2,1 = 4,2 \text{ s}$  (2x drážka).

**Nástrojový systém:**

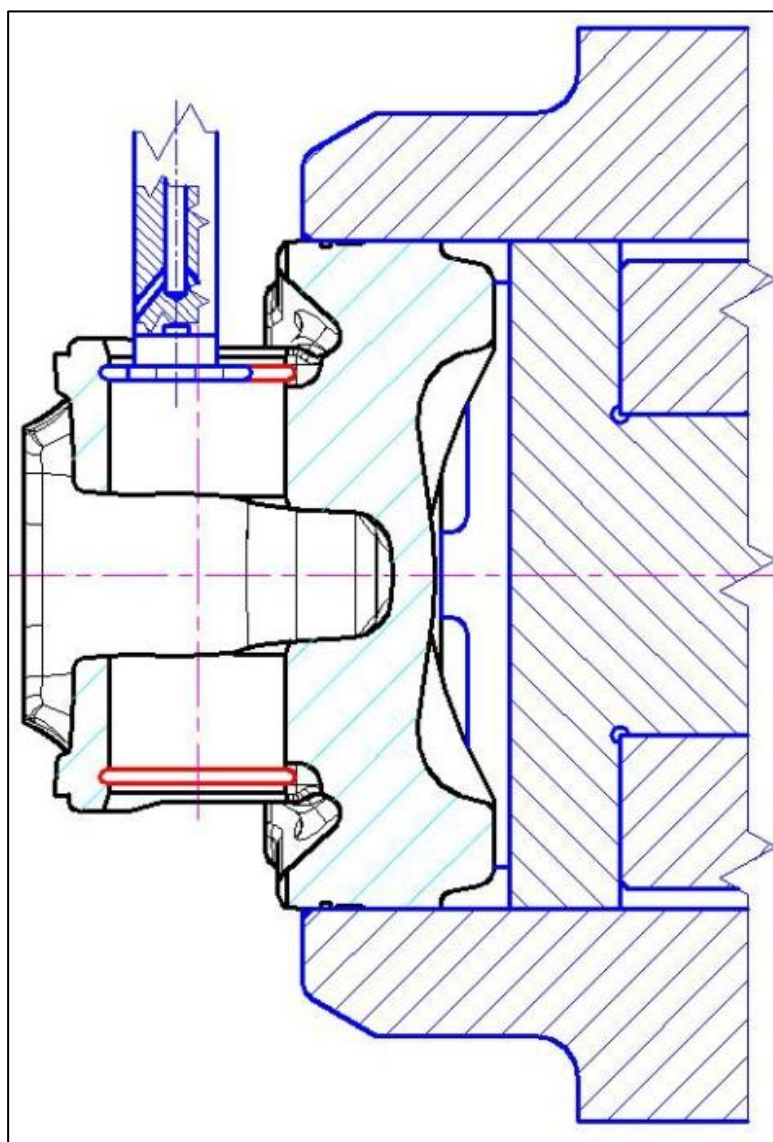
- hydromechanické sklíčidlo CoroGrip, fa. Sandvik Coromat.

**Nástroj:**

- CoroMill 327 pro frézování vnitřních drážek pro pojistné kroužky, fa. Sandvik Coromat;
- VBD třídy H10-N10 se třemi břity velikosti 09;
- nepovlakovaná karbidová třída s vynikající odolností proti otěru a ostrostí bříty;
- v případě nízké životnosti nástroje, použijeme VBD třídy CD10-N10 z polykrystalického diamantu.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny nástrojem pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.24 Obrábění drážky pro pojistný kroužek.

**Úsek č. 10 – obrábění první pomocné centráže****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: druhé vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 20.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vnitřní soustružení;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT6 – IT7;
- drsnost: Ra 1,6.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 424,1 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 1,7 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,5 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 0,2 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

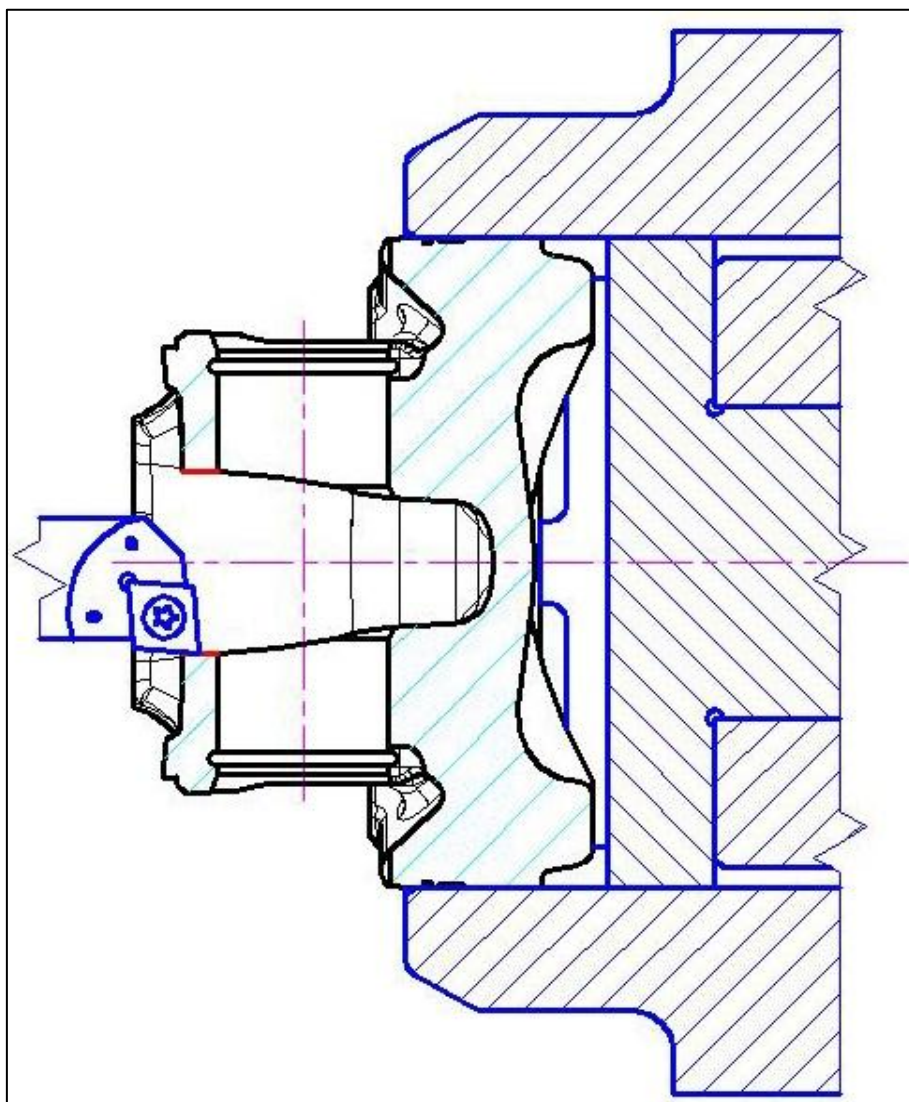
- CoroTurn 107 pro vnitřní podélné a čelní soustružení, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SCLCR 2020H08.

**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií;
- třída s diamantovým povlakem;
- ISO kód: CCEH 080404R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny nástrojem pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.25 Obrábění první pomocné centráže.

**Úsek č. 11 – obrábění druhé pomocné centráže****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: druhé vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 20.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: čelní soustružení;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT12 – IT13;
- drsnost: Ra 1,6.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 999,0 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 1,1 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,5 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 0,2 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

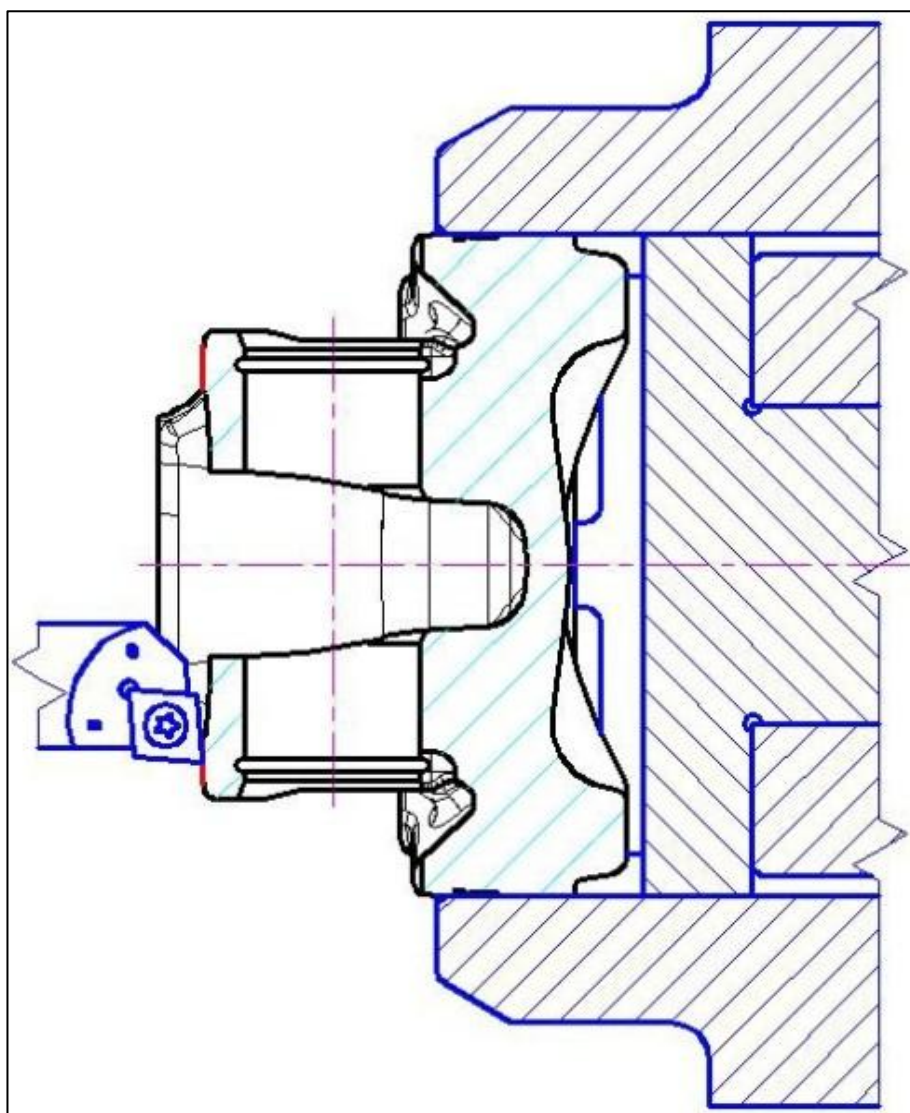
- CoroTurn 107 pro vnitřní podélné a čelní soustružení, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SCLCR 2020H08.

**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107;
- třída s diamantovým povlakem;
- ISO kód: CCEH 080404R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny nástrojem pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.26 Obrábění druhé pomocné centráže.



**Úsek č. 12 – obrábění hlavní centráže****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: druhé vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 20.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vnitřní podélné a čelní soustružení;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT6;
- drsnost: Ra 1,6.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 1413,7 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří (proměnlivá)  $a_p = 0 - 2,0 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,25 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 0,4 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

- CoroTurn 107 pro vnitřní podélné a čelní soustružení, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SCLCR 2020H08.

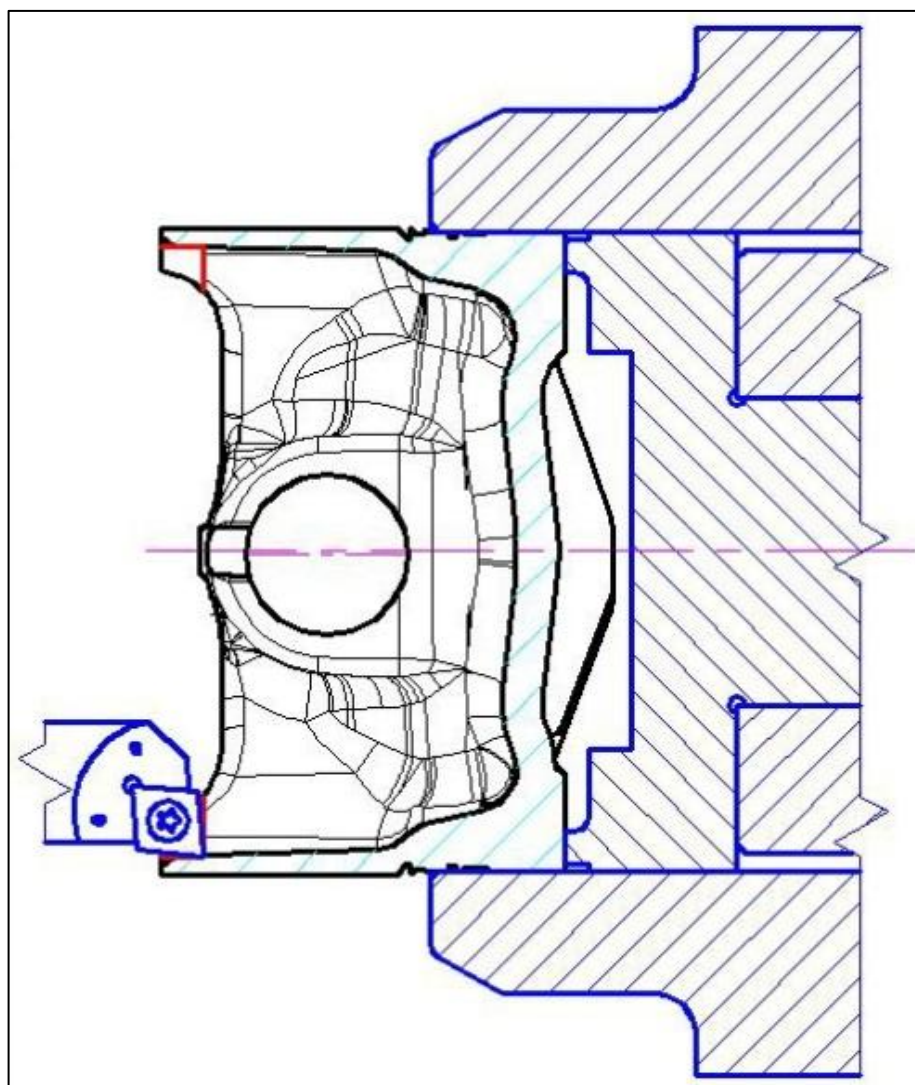
**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107;
- třída s diamantovým povlakem;
- ISO kód: CCEH 080404R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny nástrojem pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.





Obr. 6.27 Obrábění hlavní centráže.

**Úsek č. 13 – obrábění zakončení pláště****Základní charakteristika**

- stroj: Mazak INTEGREX 100-IV ST;
- ustavení: druhé vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 20.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: čelní soustružení;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT13 – IT14;
- drsnost: Ra 3,2.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 1602,2 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 1,5 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,5 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 0,2 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

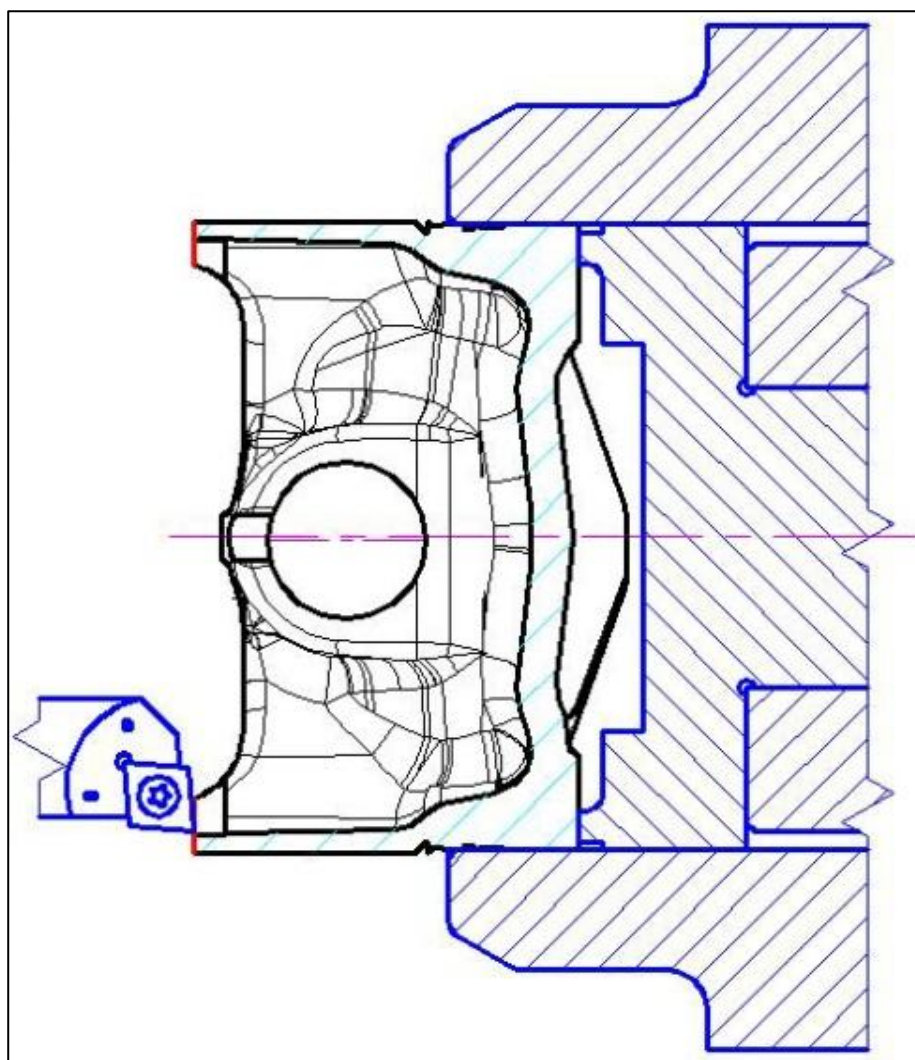
- CoroTurn 107 pro vnitřní podélné a čelní soustružení, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SCLCR 2020H08.

**Nástroj:**

- VBD třídy GC1810–N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107;
- třída s diamantovým povlakem;
- ISO kód: CCEH 080404R.

**Chlazení:**

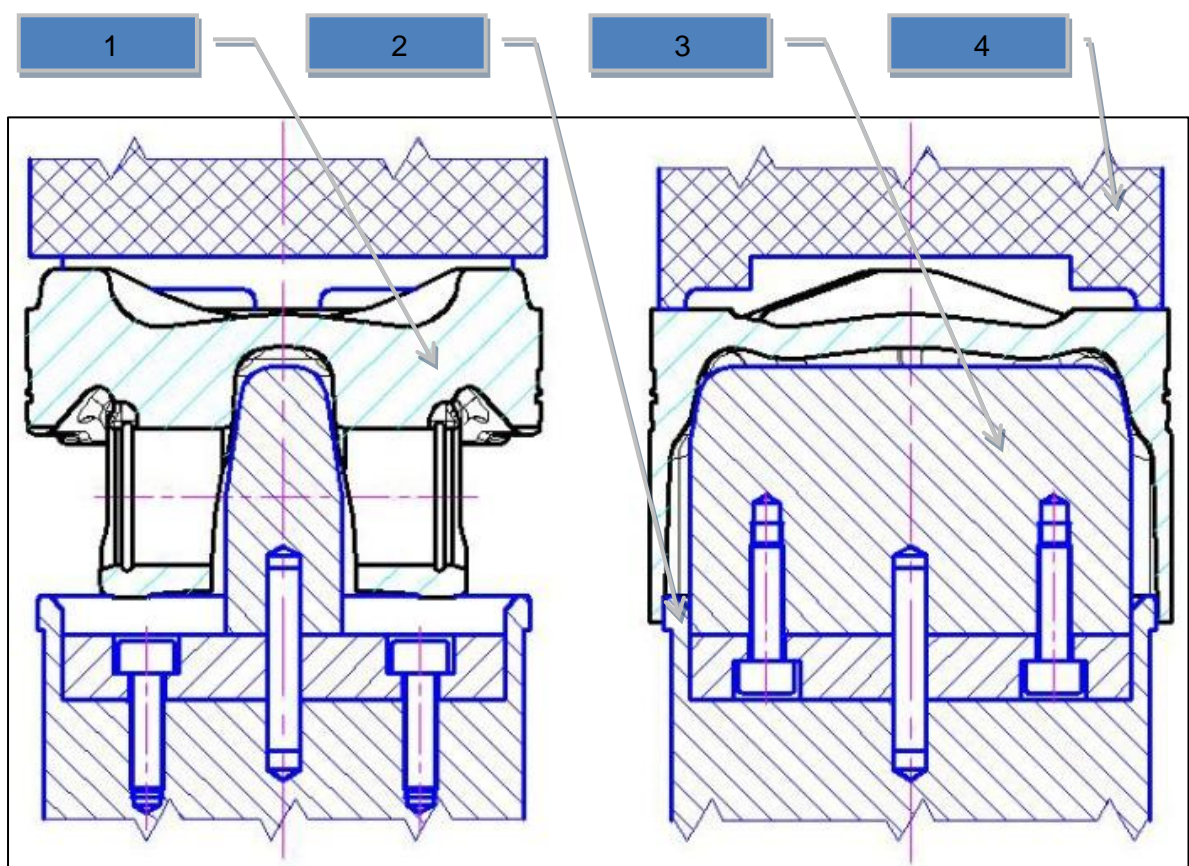
- vnitřní přívod řezné kapaliny nástrojem pod tlakem min. 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.28 Obrábění zakončení pláště.

### 6.8.3 Upnutí pístu v operaci č. 30

Průmyslový manipulátor založí píst do stroje Weisser tak, že píst 1 dosedne hlavní centráží, která je pro nás technologickou základnou na dosedací destičku 2, která je upnuta na vřetenu vertikálního soustruhu. Správnou polohu z hlediska natočení kolem své osy zajistí středící klín 3. Nakonec přijede koník s opěrou 4, která zajistí dostatečnou stabilitu pístu. Schéma upnutí pístu v operaci č. 30 je na obr. 6.29.



Obr. 6.29 Upnutí pístu v operaci č. 30.

**Úsek č. 14 – obrábění drážek****Základní charakteristika**

- stroj: Weisser VERTOR C;
- ustavení: vřeteno;
- obrábí: levá a pravá revolverová hlava;
- operace č.: 30.

**obráběné části:**

- technologie obrábění: vnější zapichování;
- operace obrábění: na hrubo a následně na čisto;
- stupeň přesnosti: IT8 - IT9;
- drsnost: Ra 0,6.

**Řezné podmínky (zapichování na hrubo):**

- otáčky vřetena  $n = 2890 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 715,4 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří - první drážka  $a_{p1} = 1,0 \text{ mm}$ ;
- šířka záběru ostří - druhá drážka  $a_{p2} = 1,0 \text{ mm}$ ;
- šířka záběru ostří - třetí drážka  $a_{p3} = 1,8 \text{ mm}$ ;
- hl. záb. ostří - sražení horní hrany pláště (na čisto)  $a_{p4} = 2,27 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,3 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 0,7 \text{ s}$ .

**Řezné podmínky (zapichování na čisto):**

- otáčky vřetena  $n = 2890 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 715,4 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,2 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,1 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 2,1 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

- nástrojový držák CoroCut vyrobený na zakázku (pro 4 resp. 3 VBD), fa. Sandvik Coromat;

**Nástroj (zapichování na hrubo):**

- VBD CoroCut 2 (dva břity) třídy H13A s pozitivní základní geometrií GM, fa. Sandvik Coromat;
- třída z nepovlakovaného karbidu pro obrábění neželezných kovů;
- výroba VBD na zakázku: pro obrábění sražení horní hrany pláště (pravá část břitu broušena pod úhlem  $45^\circ$  a levá strana s poloměrem špičky  $R = 0,4 \text{ mm}$ ), pro obrábění první a druhé drážky (oba poloměry špiček  $R = 0,5 \text{ mm}$ ) a pro obrábění třetí drážky (oba poloměry špiček  $R = 0,8 \text{ mm}$ );
- v případě nízké životnosti použijeme třídu GC 1005, slinutý karbid s povlakem z TiAlN naneseným metodou PVD.

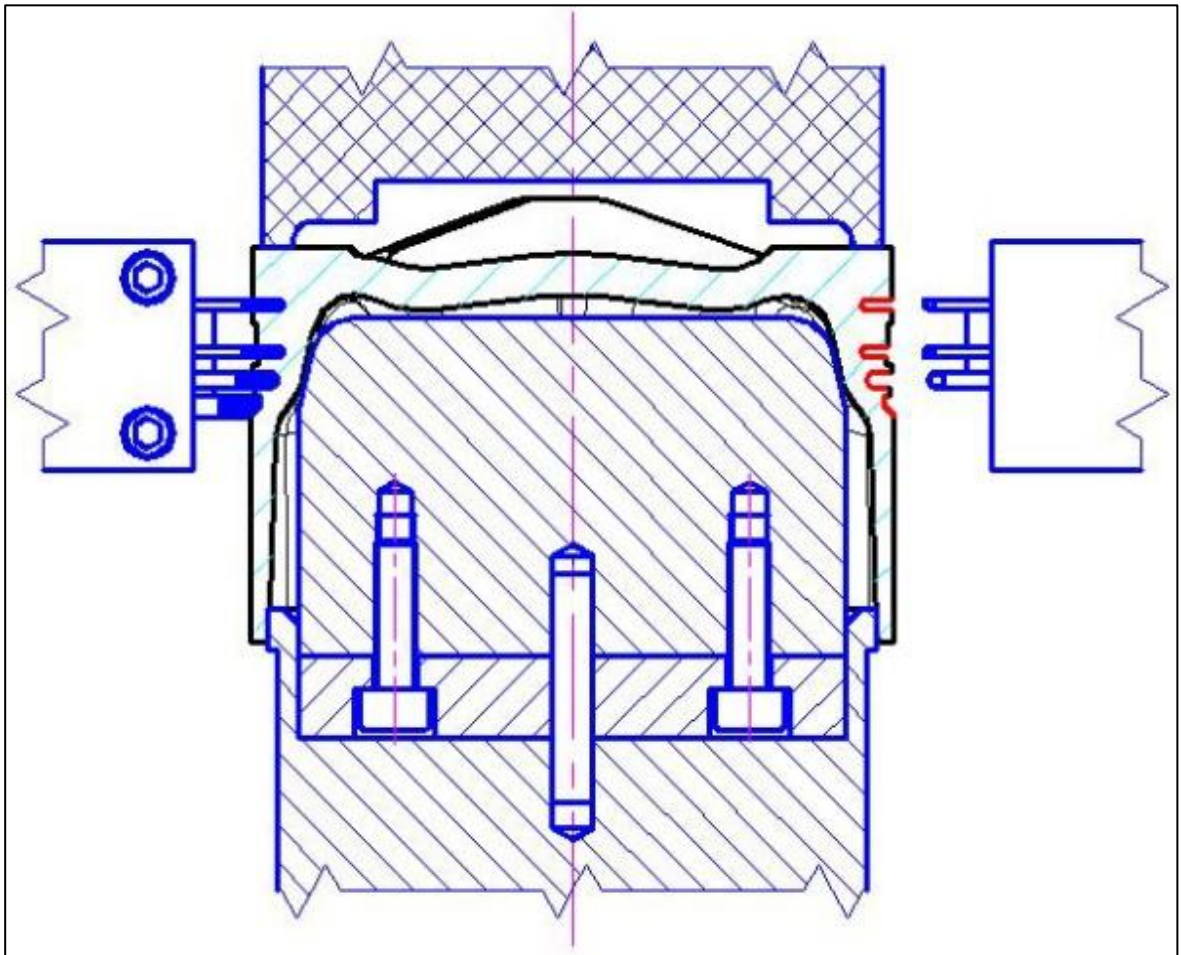


Nástroj (zapichování na čisto):

- VBD CoroCut 2 (dva břity) třídy CD10 s pozitivní základní geometrií GM, fa. Sandvik Coromat;
- třída z polykrystalického diamantu pro dokončování slitin hliníku;
- výroba VBD na zakázku: pro obrábění první a druhé drážky (oba poloměry špiček  $R = 0,5 \text{ mm}$ ) a pro obrábění třetí drážky (oba poloměry špiček  $R = 0,8 \text{ mm}$ ).

Chlazení:

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod tlakem 10 bar;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.30 Obrábění drážek na hrubo a ihned po té na čisto.

**Úsek č. 15 – obrábění pláště, hlavy a sražení hran drážek, pláště a hlavy na čisto****Základní charakteristika**

- stroj: Weisser VERTOR C;
- ustavení: vřeteno;
- obrábí: revolverová hlava;
- operace č.: 30.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vnější podélné soustružení;
- operace: obrábění na čisto;
- stupeň přesnosti: IT5 – IT6;
- drsnost: Ra 1,5 – Ra 3.

**Řezné podmínky:**

- otáčky vřetena  $n = 2890 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 717,3 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,25 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,3 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 3,5 \text{ s}$ .

**Nástrojový systém:**

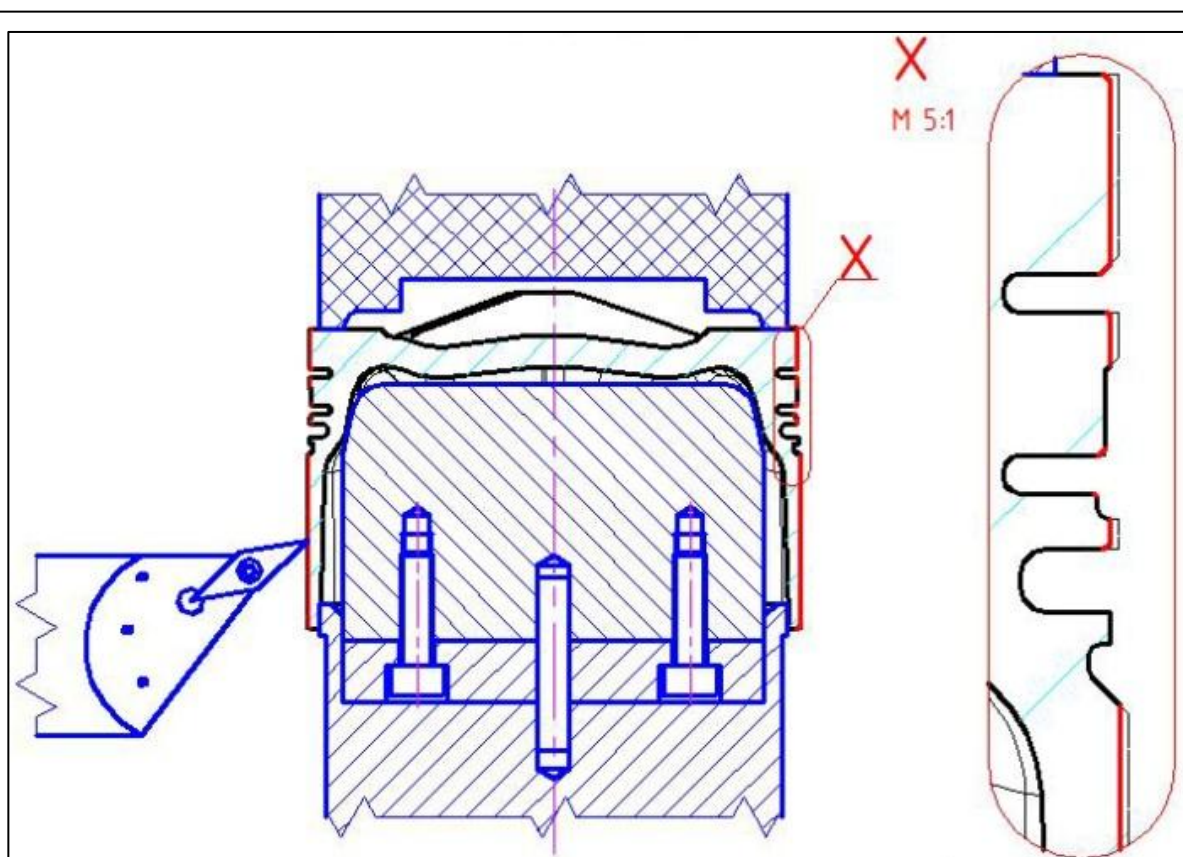
- CoroTurn 107 HP pro čelní a podélné soustružení s vysokotlakým přívodem řezné kapaliny, fa. Sandvik Coromat;
- ISO kód: SVJCR 2020H11.

**Nástroj:**

- VBD třídy CD10-N10 s pozitivní základní geometrií pro soustružení se systémem CoroTurn 107;
- třída z polykrystalického diamantu;
- ISO kód: VCEH 110408R.

**Chlazení:**

- vnitřní přívod řezné kapaliny pod vysokým tlakem;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.

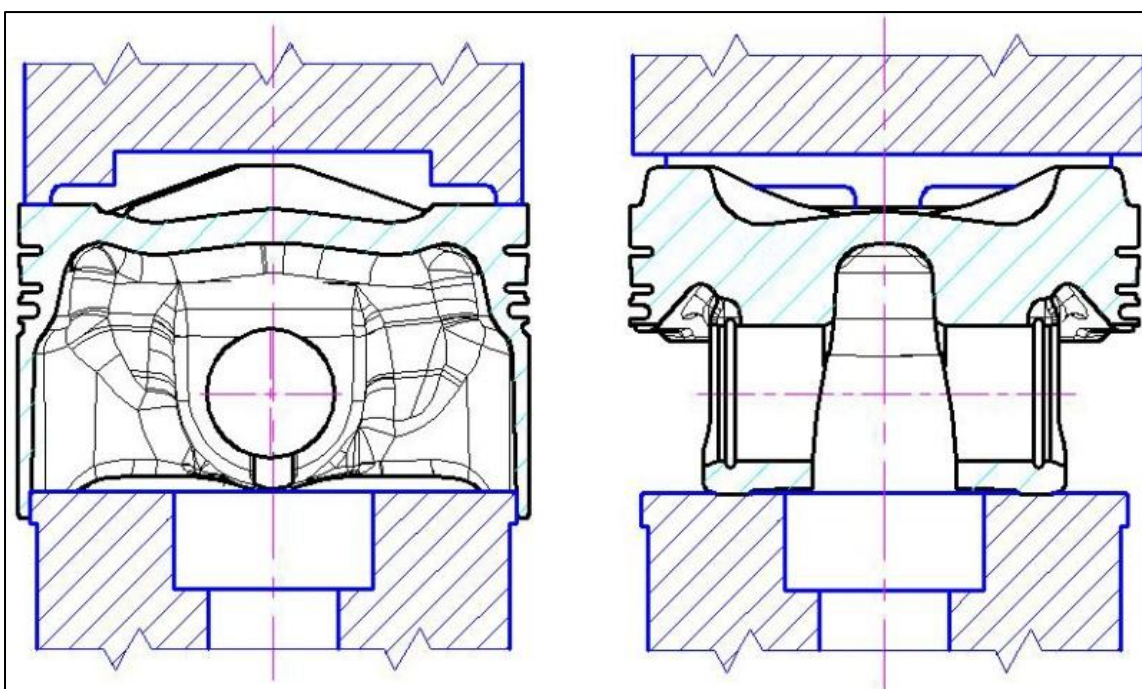


Obr. 6.31 Obrábění pláště na čisto.



#### 6.8.4 Upnutí pístu v operaci č. 40

Průmyslový manipulátor, který má dvě úchopové hlavice natočené o  $90^\circ$ , vyjme již obrobený píst a ihned po té založí píst s čepním otvorem vyvrtaným pouze na hrubo. Manipulátor je konstruován tak, že úchopové hlavice, které kromě vložek z tvrdého plastu, mají středící trny, které se při sevření úchopové hlavice zasunou do vyhrubovaného čepního otvoru a zajistí tak přesnou polohu pístu pro dokončovací vyvrtávání. Manipulátor vloží píst hlavní centráží na dosedací destičku, která má ve svém středu vyvrtaný otvor pro přívod řezné kapaliny, v pracovním prostoru stroje, a zároveň další destička s dvěma dosedacími plochami přes dno bezpečně píst upne. Po té do čepních otvorů zajede pinola koníka, která vede vyvrtávací tyč. Schéma upnutí je na obr. 6.32



Obr. 6.32 Upnutí pístu v operaci č. 40.

**Úsek č. 16 – obrábění čepního otvoru****Základní charakteristika**

- stroj: FBM 1;
- ustavení: opěrná destička;
- obrábí: pracovní vřeteno;
- operace č.: 40.

**Charakteristika obráběné části:**

- technologie obrábění: vyvrtávání;
- operace obrábění: na čisto;
- stupeň přesnosti: IT3 – IT4;
- drsnost: Ra 0,6.

**Řezné podmínky (první nůž):**

- otáčky vřetena  $n = 3500 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 230,4 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,15 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,3 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 3,4 \text{ s}$ .

**Řezné podmínky (druhý nůž):**

- otáčky vřetena  $n = 2500 \text{ min}^{-1}$ ;
- řezná rychlost  $v_c = 165 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- hloubka záběru ostří  $a_p = 0,03 \text{ mm}$ ;
- posuv  $f = 0,2 \text{ mm}$ ;
- strojní jednotkový čas  $t_{AS} = 6,6 \text{ s}$ .

**Nástrojový držák:**

- na zakázku vyráběná vyvrtávací tyč ze slinutého karbidu. Vyvrtávací tyč s nástroji na obr. 7.33.

**Nástroj:**

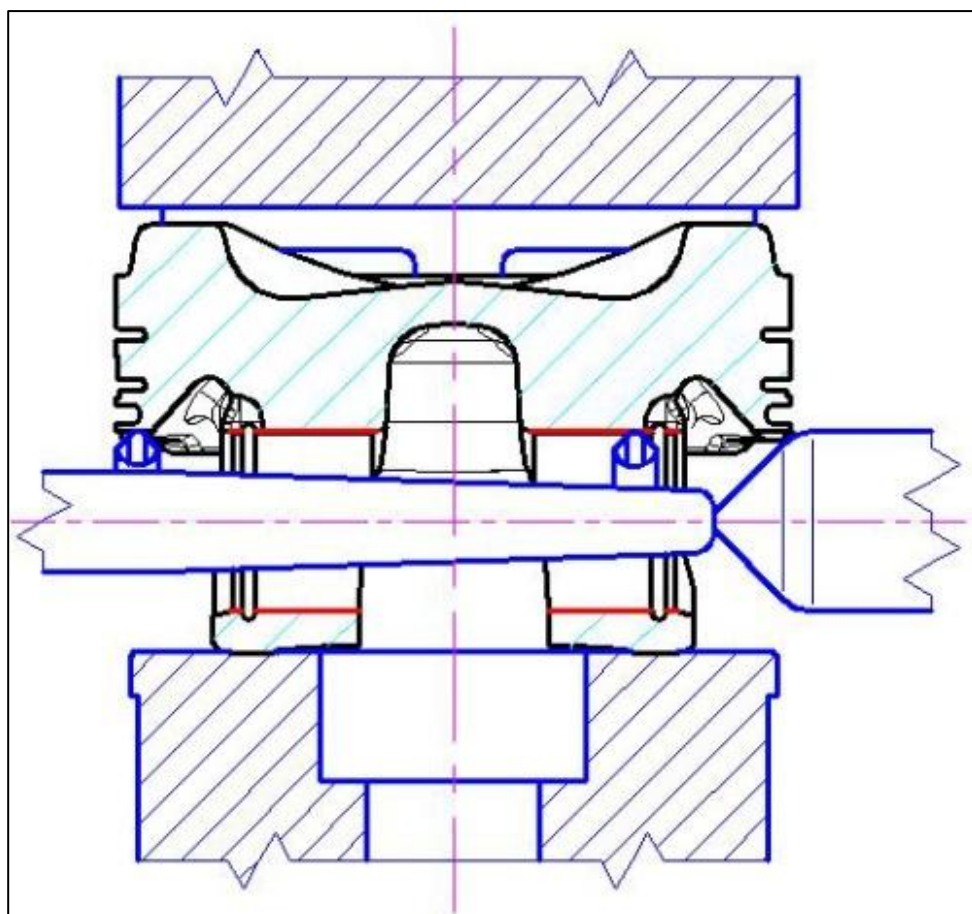
- na zakázku vyráběný nástroj ze slinutého karbidu (polotovár KR 10-15) s roubíkem z polykrystalického diamantu;
- geometrie nože:  $\alpha_o = 5^\circ$ ,  $\gamma_o = 3^\circ$ ,  $\varepsilon_r = 80^\circ$ ,  $\kappa_r = 50^\circ$ ,  $r_\varepsilon = 0,6 \text{ mm}$ .

**Chlazení:**

- vnější přívod řezné kapaliny pod vysokým tlakem;
- řezná kapalina Cimtech, fa. Cimcool;
- syntetická kapalina pro obrábění kovů bez minerálních olejů založená na mazivech rozpustných ve vodě.



Obr. 6.33 Vyrvtávací tyč s nástroji.



Obr. 6.34 Obrábění čepního otvoru na čisto.

## 7. NÁVRH KONTROLNÍHO MĚŘENÍ PÍSTŮ

První a důležitý aspekt je, že stejně jako obrobna musí dodávat zákazníkovi výrobky v požadované kvalitě, musí slévárna svému zákazníkovi dodávat výrobky rovněž v požadované kvalitě, tj. dodávat odlitky obrobně dle výkresové dokumentace a dle stanovených interních norem týkajících se chemického složení slitiny, dodržování technologické kázně odlévání, předepsaného tepelného zpracování a rovněž pohledové a rozměrové kontroly svých výrobků, tedy odlitků. Tento aspekt klade především důraz na precizní technickou přípravu výroby, řízení jakosti ve výrobních a i předvýrobních etapách a stejně tak na všechny úrovně řízení.

V kapitole 4.4 byly popsány možné příčiny vzniku výrobních chyb během procesu obrábění. Příčiny jako je nedostatečná geometrická přesnost stroje, nástroje; nedostatečná přesnost polohování řízené části stroje; pružné a tepelné deformace obráběcí soustavy; opotřebení částí stroje, nástroje; nepřesné seřízení nástroje; nedostatečné vybavení strojů sledovacími měřidly; malý stupeň automatizace kontroly; kolísání teploty apod. lze při využití stroje Mazak INTEGREX 100-IV ST eliminovat na minimum, neboť toto CNC obráběcí centrum je konstruováno tak, že použité lineární vedení má mimořádně nízký koeficient tření a tím odstraňuje jakýkoliv trhavý pohyb. Současně při polohování rychloposuvem vzniká jenom nepatrné množství tepla, takže je dlouhodobě zajištěno obrábění s vysokou přesností. Dále obsahuje funkce jako inteligentní teplotní štít, aktivní kontrolu vibrací, předseřizovací zařízení nástrojů (Tool Eye), kompletní chladicí zařízení, kontrola drah nástroje programu během obrábění podle jiného programu, kontrola životnosti nástroje, kontrola přítomnosti nástroje atd. Důležité je, aby veškeré vlastnosti a funkce obráběcího stroje byly plně využity. Ostatní vlivy jako např. nepřesné seřízení přípravku, nedostatečná přesnost a tuhost upnutí obrobku v přípravku, nepřesné metody měření, nepříznivé pracovní prostředí, technologická kázeň apod. lze eliminovat, stejně jako v případě procesu odlévání, propracovanou technickou přípravou výroby a vysokou úrovní řízení.

V našem případě, kdy jsou strojní jednotkové časy jednotlivých operací v sekundách a kdy jsme vázáni stanoveným taktem linky, nepřipadá v úvahu měření obrobku přímo ve stroji, tudíž všechny měřicí zařízení a samotný proces měření musí být realizován mimo obráběcí stroj.

## 7.1 Kontrolované parametry pístu

- **spalovací komůrka na čisto:** celkový tvar, síla dna;
- **plášť a hlava pístu na hrubo:** průměry, síla stěn;
- **první, druhý a třetí můstek na čisto:** průměry;
- **odmazávací otvory na čisto:** průměr, úhly a výšky;
- **dno na čisto:** rozměry vůči ose čepního otvoru,
- **hrana komůrky na čisto:** celkový tvar;
- **čepní otvor na hrubo:** průměry, kompresní výška, rovnoběžnost se dnem pístu, kolmost vůči vnitřnímu tvaru (E-míře), sražení hran;
- **drážky pro pojistný kroužek:** průměr, rozteč, šířka, poloměr dna drážky, házivost vůči čepnímu otvoru, souměrnost vůči ose pístu;
- **první pomocná centráž na čisto:** průměr;
- **druhá pomocná centráž na čisto:** poloha vůči ose čepního otvoru;
- **hlavní centráž na čisto:** průměr, umístění vůči ose čepního otvoru, házivost vůči plášti na hrubo;
- **zakončení pláště na čisto:** délka pláště;
- **drážky na čisto:** šířky, průměry a výšky drážek, sražení hran, drsnost, tvar plochy;
- **plášť a hlava pístu na čisto:** průměry (3x), ovalita, sražení hran, drsnost;
- **čepní otvor na čisto:** průměr, tvar (formbolo), vyosení vůči ose pístu, válcovitost, kolmost vůči plášti, kompresní výška, drsnost;

Z výčtu veškerých kontrolovaných parametrů je vidět, že se všechny parametry na výrobní lince měřit nedají, např. u celkového tvaru spalovací komůrky a hrany spalovací komůrky musí být tyto parametry proměřeny na 3D souřadnicovém stroji. Dále drsnosti, ovalita pláště, tvar čepního otvoru atd. vyžadují speciální měřicí přístroje, které musí být situovány v odděleném prostoru od výroby, kde je udržována předepsaná teplota vzduchu a jsou eliminovány veškeré nepříznivé vlivy z pracovního prostředí obrobny, které by mohly ovlivňovat měření.

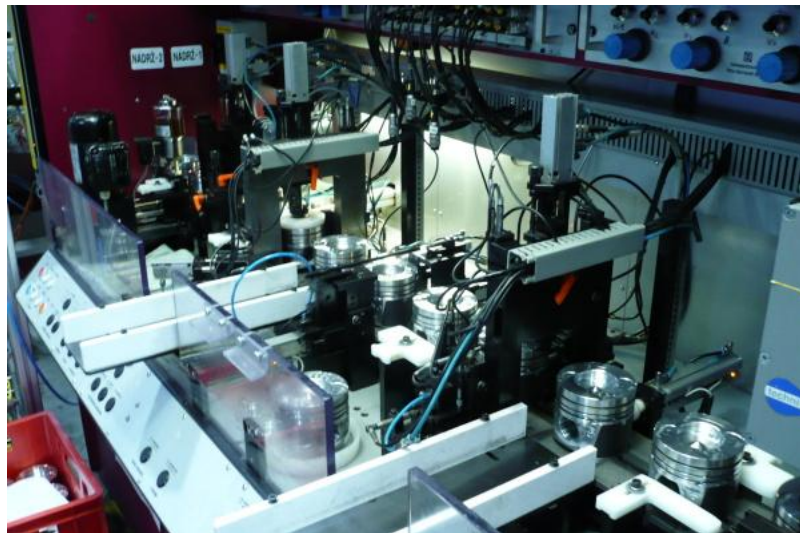
## 7.2 Navrhovaný kontrolní plán pro navrhovanou výrobní linku

- veškeré parametry pístu, uvedené v kapitole 7.1, proměřit pouze po seřízení linky z jiného typu pístu;
- ve chvíli, kdy se bude na výrobní lince vyrábět pouze tento píst, bude se kontrolovat pouze ten parametr, u kterého došlo k výměně a seřízení nástroje výrobním strojem, toto měření bude prováděno obsluhou mezioperační kontroly na pracovišti mezioperační kontroly;
- důležité části pístu jako jsou: čepní otvor na čisto, plášť na čisto, kompresní výška a drážky na čisto budou kontrolovány 100 % a to na automatickém měřicím zařízení od firmy Otto Harrandt GmbH a to ihned po obrobení dané části pístu. Požadavek na firmu Otto Harrandt GmbH je, aby použila kompatibilní řídicí systém s řídicím systémem obráběcího stroje pro automatické korekce na stroji a prováděla statistickou regulaci procesu měření pro tyto parametry.



### 7.3 Firma Otto Harrandt GmbH

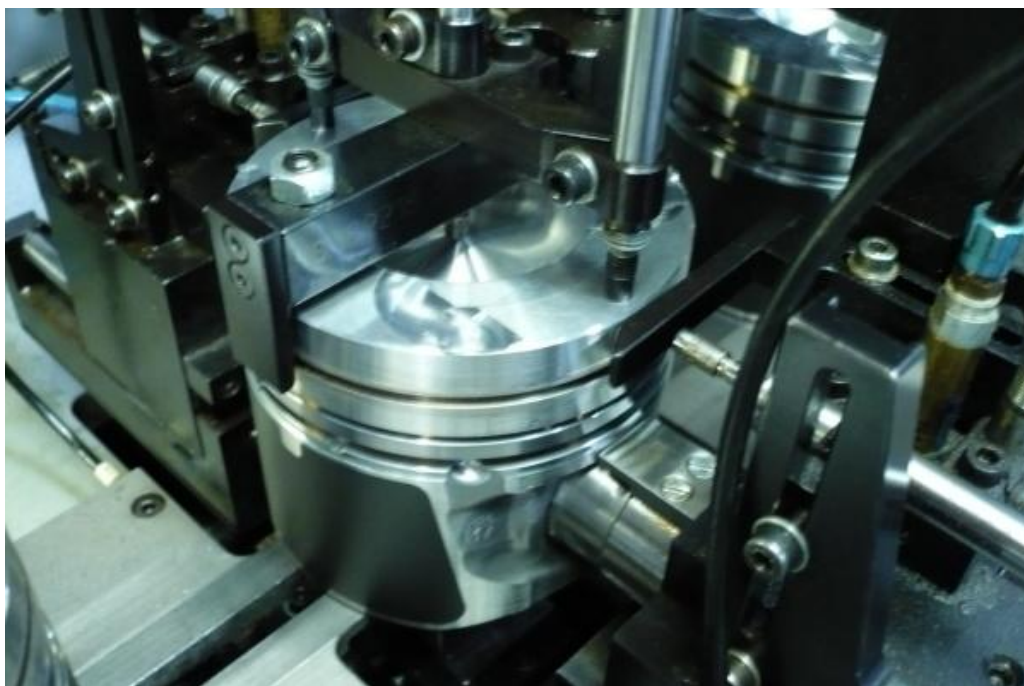
Společnost založil roku 1958 Otto Harrandt. Společnost nejprve začala vyrábět zařízení pro značení pístů a po té se rozsah produktů rozrostl o měřicí techniku. To vedlo až k vývoji zařízení pro automatickou kontrolu pístů. Společnost má nyní nejen vlastní vývoj produktů, ale zároveň spolupracuje se svými zákazníky a nabízí kompletní kontrolní zařízení tzv. na míru. Kromě měřících zařízení společnost dodává zařízení pro ultrazvukové měření, kontrolu vířivými proudy, značení inkoustem ale i laserem a zabývá se kompletními stroji pro kompletaci pojistných kroužků, čepů a stíracích a těsnících kroužků všech typů. Společnost má i oddělení zabývající se problematikou elektroniky pro všechny typy zařízení a proto je firma Harrandt ideálním dodavatelem kompletního měřícího zařízení pro písty, které se vyrábí v automatickém procesu. Příklady měřících zařízení pro měření pístů firmy Otto Harrandt GmbH jsou na obr. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4



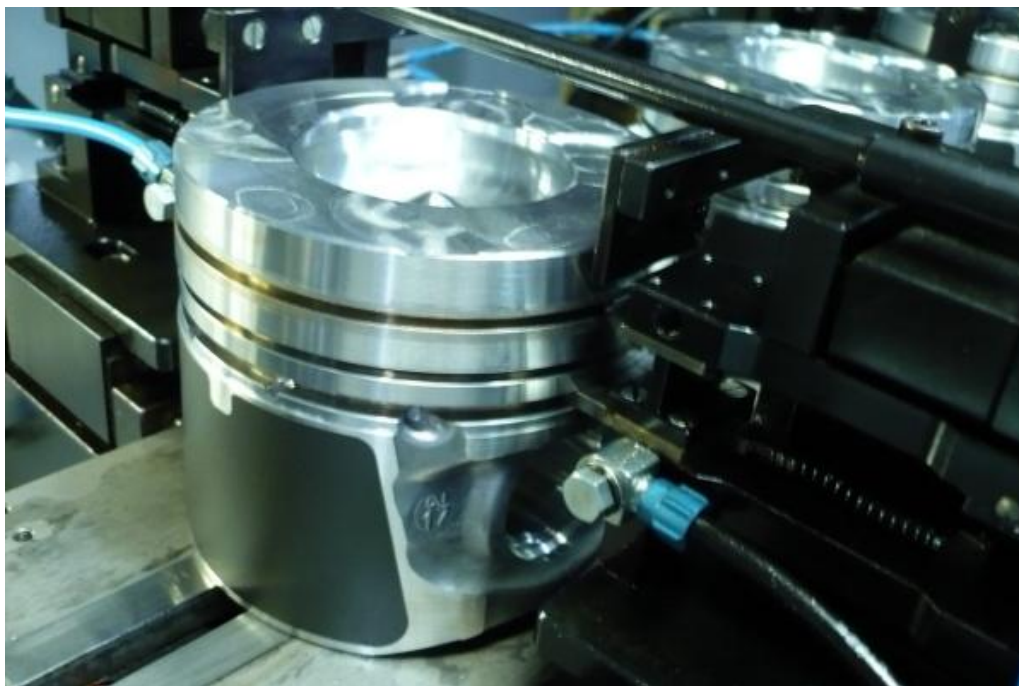
Obr. 7.1 Měřicí automatické zařízení firmy Otto Harrandt GmbH.



Obr. 7.2 Měřicí stanoviště zabudované v lince.



Obr. 7.3 Měření průměru čepního otvoru a kompresní výšky.



Obr. 7.4 Měření šířky drážek.

## 8. ČASOVÁ STUDIE NAVRŽENÉHO POSTUPU

Podrobná časová studie navrženého postupu, která podrobně uvádí jednotlivé strojní jednotkové časy, časy založení a vyložení pístu za stroje, stejně tak jako výměny nástrojů, je pro jednotlivé stroje v tab. 8.1.

Tab. 8.1 Podobná časová studie navrženého postupu.

<b>Mazak INTEGREX 100-IV ST</b>			
<b>Vřeteno č.1</b>	<b>čas [s]</b>	<b>Vřeteno č.2</b>	<b>čas [s]</b>
Druhé vřeteno si odebírá píst	2,5	Vřeteno č.2 si odebírá píst z vřetena č.1	3,4
Založení pístu do prvního vřetena	4,5	Čekání na založení pístu do vřetena č.1	3,5
Najetí spodní rev. hlavy do prac. pozice	2	Najetí nástrojového vřetena	3
Úsek č.1 - spalovací komůrka na hrubo	2,8	Úsek č.8 - čepní otvor na hrubo	3,8
Úsek č.2 - hlava a plášť na hrubo	1,1	Natočení vřetena s pístem	0,5
Výměna nástroje spodní rev. hlavy	3,5	Úsek č.8 - čepní otvor na hrubo	3,8
Úsek č.3 - můstky na čisto	0,1	Výměna nástroje - nástrojové vřeteno	5
Výměna nástroje spodní rev. hlavy	3,5	Úsek č.9 - drážka pro poj. kroužek na čisto	2,1
Úsek č.4 - spalovací komůrka na čisto	2,4	Natočení vřetena s pístem	0,5
Čekání na nástrojové vřeteno	5,4	Úsek č.9 - drážka pro poj. kroužek na čisto	2,1
Výměna nástroje - nástrojové vřeteno	5	Najetí spodní revolverové hlavy	2
Úsek č.5 - odmazávací otvory na čisto	0,6	Úsek č.10 - první pomoc. centráž na čisto	0,2
Natočení vřetena s pístem	0,5	Úsek č.11 - druhá pomoc. centráž na čisto	0,2
Úsek č.5 - odmazávací otvory na čisto	0,6	Úsek č.12 - hlavní centráž na čisto	0,4
Natočení vřetena s pístem	0,5	Úsek č.13 - zakončení pláště na čisto	0,2
Úsek č.5 - odmazávací otvory na čisto	0,6	Odebrání pístu druhému vřetenu	3,5
Natočení vřetena s pístem	0,5		
Úsek č.5 - odmazávací otvory na čisto	0,6		
Výměna nástroje - nástrojové vřeteno	5		
Úsek č.6 - dno na čisto	2,8		
Úsek č.7 - hrana komůrky na čisto	10,5		
<b>Součet</b>	<b>55,0</b>	<b>Součet</b>	<b>34,2</b>
<b>Weisser VERTOR C1</b>		<b>FBM 1</b>	
Vyložení a založení pístu do stroje	6	Vyložení a založení pístu	6
Najetí revolverové hlavy	2	Najetí pinole do čepních otvorů	1,5
Úsek č.14 - drážky na čisto	2,8	Úsek č.16 - čepní otvor na čisto	10
Výměna nástroje	6	Návrat vyvrtávací tyče do výchozí polohy	10
Úsek č.15 - plášť a hlava na čisto	3,5		
Odjetí revolverové hlavy	2		
<b>Součet</b>	<b>22,3</b>	<b>Součet</b>	<b>27,5</b>

Z uvedené tabulky je zřejmé, že pokud má výrobní linka vyrábět s taktem 13,9 s, musí se skládat z tohoto počtu strojů:

- Mazak INTEGREX 100-IV ST – 4x;
- Weisser VERTOR C1 – 2x;
- FBM 1 – 2x.

Layout výrobní linky je pro přehlednost uveden v příloze č. 1.



## 9. NÁKLADY NA POŘÍZENÍ VÝROBNÍ LINKY

Náklady, které je nutno investovat do pořízení nové výrobní linky jsou shrnuty v tab. 9.1 a tab. 9.2.

Tab. 9.1 Náklady na výrobní linku.

ODHADOVANÉ NÁKLADY NA VÝROBNÍ LINKU				
	cena/ks [Kč]	počet ks (na linku)	počet ks (na sklad)	cena celkem [Kč]
<b>Výrobní stroje</b>				
Mazak INTEGRIX 100-IV ST	7 000 000 *	4	0	28 000 000
Weisser VERTOR C-1	12 000 000	2	0	24 000 000
FBM 1	7 500 000	2	0	15 000 000
<b>Výrobní stroje celkem</b>				<b>67 000 000</b>
<b>Nářadí</b>				
Nástrojový držák SRXCR 2020H16	5 000	4	4	40 000
Nástrojový držák SVDJR 2020H11	5 000	4	4	40 000
Nástrojový držák SVJCR 2020H11	5 000	2	2	20 000
Nástrojový držák SCLCR 2020H08	5 000	4	4	40 000
Nástrojový držák CoroCut - zakáz. výroba	6 000	8	4	72 000
Vyvtávací tyč - zakázková výroba	22 500	2	1	67 500
Pinole - zakázková výroba	8 000	2	1	24 000
Upínací jednotka pro revolverovou hlavu	15 000	8	3	165 000
Válcová kleština	700	4	2	4 200
Hydromechanické sklíčidlo CoroGrip	12 000	16	4	240 000
VBD RCEH 1606M0R	3 000	4	12	48 000
VBD VCEH 110408R	3 000	6	18	72 000
VBD CCEH 080404R.	3 000	4	12	48 000
Nůž s roubíkem z PKD	1 500	4	16	30 000
VBD pro obrábění můstků - zakáz.výroba	1 500	4	12	24 000
VBD pro drážky na hrubo - zakáz. výroba	2 500	2	8	25 000
VBD pro drážky na čisto - zakáz. výroba	5 000	2	8	50 000
Vrták CoroDrill Delta	400	4	12	6 400
Fréza CoroMill 790	4 500	4	12 **	23 100
Fréza CoroMill 327	3 500	4	12 **	20 100
Vrták CoroDrill 880	6 000	4	12 **	27 600
Upínač operace č. 10	70 000	4	1	350 000
Upínač operace č. 20	50 000	4	1	250 000
Upínač operace č. 30	35 000	2	1	105 000
Upínač operace č. 40 včetně zakladače a vyrovnávací destičky	45 000	2	1	135 000
Šablona pro FBM 1	30 000	2	1	90 000
Seřizovací adaptér	55 000	1	0	55 000
<b>Nářadí celkem</b>				<b>2 071 900</b>

Tab. 9.2 Náklady na výrobní linku.

ODHADOVANÉ NÁKLADY NA VÝROBNÍ LINKU				
	cena/ks [Kč]	počet ks (na linku)	počet ks (na sklad)	cena celkem [Kč]
Manipulační technika				
Průmyslový robot Fanuc M20IA/10L včetně úchopové hlavice	800 000	4	0	3 200 000
Dopravník na odlitky	800 000	1	0	800 000
Dopravníky mezi stroji	150 000	4	0	600 000
Technologické palety	150 000	1	0	150 000
Manipulční technika celkem				4 150 000
Kontrola pístů				
Měřidla	450 000	1	0	450 000
Software včetně propojení s výrobními stroji	1000000 *	1	0	1 000 000
Kontrolní stolky	20 000	1	0	20 000
Kontrola pístů celkem				1 470 000
Transport strojů	150 000	1	0	150 000
El. a vzduchové připojení strojů včetně revize	250 000	1	0	250 000
Ostatní				
Rošty s vanami (prostor mezi stroji)	30 000	1	0	30 000
Úprava vozíků na třísky	10 000	1	0	10 000
Ostatní celkem				40 000
Odhadované náklady na výrobní linku celkem				75 131 900
*) Prodejce cenu neposkytl - hrubý odhad				
**) Pouze VBD				

## 10. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem technologie výroby a výrobní linky pro výrobu pístů do spalovacích motorů. Konkrétně se jedná o návrh výroby pístů pro automobilku Ford Motor Company, které budou kompletovány s motory GTDI o objemu 1,5 l.

V první části diplomové práce je popsána teorie obrábění hliníkových slitin. Je zde popis slévárenské slitiny AlSi12Cu4Ni2Mg, emulze používané při obrábění hliníkových slitin, včetně ekologických aspektů těchto emulzí. Dále je zde probrána obrobitelnost hliníkových slitin a kapitola je zakončena používanými nástrojovými materiály. Další kapitolu tvoří část technologické přípravy výroby, kde jsou vybraná témata zabývající se metodikou navrhování výrobních postupů, výpočty jednotkových strojních časů vybraných technologií obrábění a vlivy základních faktorů na přesnost výroby. Teoretická část diplomové práce je zakončena kapitolou, která pojednává o automatizaci výrobních procesů.

Cílem této práce bylo navrhnout výrobní postup, zvolit vhodné stroje, nástroje a kontrolu pístů a to tak, aby byly využity progresivní technologie s maximální podporou automatizační techniky. Navrhovaná výrobní linka musela, dle kapacitních propočtů, vyrábět písty v taktu 13,9 sekund, což se úspěšně povedlo. Náklady na pořízení nové linky jsou značné, ale při požadavcích zákazníka, který chce v letech 2013 až 2017 dodat celkem 5 920 000 pístů, se tyto náklady vrátí během několika následujících let. Linka, díky multifunkčnímu obráběcímu centru Mazak INTEGREX 100-IV ST, je velmi univerzální a dá se na ní vyrobit prakticky kterýkoliv píst, čehož se využije v letech 2013 až 2016, kdy linka nebude plně využita připravovaným pístem. Navíc se díky dvou vřetenové koncepci stroje ušetří výrobní prostor. Nástroje jsem volil ze sortimentu firmy Sandvik Coromat, která patří k předním dodavatelům obráběcích nástrojů a tudíž se spoléhám na jejich kvality a zkušenosti.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
2. *Materiálová norma*. KS Kolbenschmidt Czech Republic, a.s., 2011. KS normy WK 600.201.
3. ZEMČÍK, O. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
4. KELLY, J.F.; COTTERELL, M.G. *Minimal lubrication machining of aluminium alloys*. www.sciencedirect.com [online], 5. listopadu 2001. [cit. 2012-03-05]. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013601011268>.
5. PLANSEE TIZIT [online]. *Tools for aluminium machining*. 2009. [cit. 2012-03-05]. Dostupné na: [http://www.sanimex.ro/catalog/pdf/Alu\\_EN.pdf](http://www.sanimex.ro/catalog/pdf/Alu_EN.pdf).
6. KŘÍŽ, P. *Mikroemulze pro obrábění hliníku*. www.tribotechnika.sk [online]. Únor 2011. [cit. 2012-03-05]. Dostupné na: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22011/mikroemulze-pro-obrabeni-hliniku.html>.
7. KŘÍŽ, P. *Aktuální vývoj vodou mísitelných kapalin pro obrábění hliníku*. www.tribotechnika.sk [online]. Duben 2011. [cit. 2012-03-05]. Dostupné na: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42011/aktualni-vyvoj-vodou-misitelných-kapalin-pro-obrabeni-hliniku.html>.
8. LATTNER, M.; MÁDL, J.; RŮŽIČKA, L. Obrobitelnost hliníkových slitin a krátkodobé zkoušky obrobitelnosti. *Strojírenská technologie*. Zář 2011, číslo 4, str. 76-80. ISSN 1211-4162.
9. PÍŠKA, M.; FOREJT, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. Flank wear. Crater wear; Built-up edge. *Carbide Depot* [online]. Carbide Depot, Inc., 2004. [cit. 2012-03-08]. Dostupné na: <http://www.carbidedepot.com/formulas-turning-troubleshoot.htm>.
11. VASILKO, K. *Teória a prax trieskového obrábania*. Prešov: Fakulta výrobných technológií (FVT), 2009. 372 str. ISBN 978-80-553-0152-5.
12. Garant [online]. *Příručka obrábění*. 2005. [cit. 2012-03-12]. Dostupné na: <http://www.hoffmann-group.com/cz/kompetence-v-oblasti-vyroby/prirucka-obrabeni.html>.
13. MÁDL, J.; KVASNIČKA, I. *Optimalizace obráběcího procesu*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1998. 168 s. ISBN 80-01-01864-6.
14. MICHNA, Š., et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vydání, Prešov: Adin, s.r.o., 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.

15. SANDVIK COROMAT [online]. *Metalcutting Technical Guide (A) General Turning*. 2006. [cit. 2012-03-25]. Dostupné na: [http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/metalworking\\_products\\_061/tech\\_a\\_8.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/metalworking_products_061/tech_a_8.pdf).
16. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vydání. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
17. MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. vydání. Praha: MM publishing, s.r.o., 2006. ISBN 978-80-254-7980-3.
18. ADAMEC, J. *Technologie automatizovaných výrob*. 1. vydání. VŠB-TECHNICKÁ UNIVERSITA OSTRAVA, 2006. 120 s. ISBN 80-248-0871-4.
19. ŘASA, J., POKORNÝ, P., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 2. díl*. Praha: Scientia spol. s r.o., 2001. 220 s. ISBN 80-7183-227-8.
20. MÁDL, J. Ekologické trendy při používání řezných kapalin. *Strojárstvo extra*. Březen 2008, číslo 3, str. 72/2-73/3. ISSN 1335-2938.
21. ROMAN, R. Životnosť vodouriediteľných chladiacich kvapalín. *Strojárstvo extra*. Březen 2008, číslo 3, str. 74/4-75/5. ISSN 1335-2938.
22. HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů. Technologické projekty I*. 3. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
23. FANUC robotics. Fanuc M-20iA/10L. *FANUC robotics* [online], 2009. [cit. 2012-03-08]. Dostupné na: [http://www.fanucrobotics.hu/en/products/a\\_industrial-robots/m-20ia/m-20ia%2010l](http://www.fanucrobotics.hu/en/products/a_industrial-robots/m-20ia/m-20ia%2010l).
24. John Hart Automation & Robotics. Fanuc M/20iA tending a machine tool. *John Hart Automation & Robotics* [online], 2012. [cit. 2012-03-08]. Dostupné na: <http://www.johnhartautomation.com.au/products/fanuc-robots/m20ia/>.
25. RobotWorx. M20ia-side. *Robot worx* [online], 2012. [cit. 2012-03-08]. Dostupné na: <http://www.robots.com/fanuc/m-20ia-10l/648>.
26. Misan, s.r.o. B\_IGX100IVST. *Misan, obráběcí stroje a nástroje*, 2012. [cit. 2012-03-08]. <http://www.misan.cz/mazak/katalog-detail/igx100ivst-integrex-100-iv-st/>.
27. NS Machine Corporation - Used Machinery Sales. 11626-3; 11626-4. *NS machine*, 2009. [cit. 2012-03-08]. Dostupné na: <http://www.nsmachine.com/11626.html>.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
$\alpha$	$[K^{-1}]$	teplotní součinitel roztažnosti
$\alpha_o$	$[^{\circ}]$	nástrojový ortogonální úhel hřbetu
$\beta_o$	$[^{\circ}]$	nástrojový ortogonální úhel břitu
$\gamma_o$	$[^{\circ}]$	nástrojový ortogonální úhel čela
$\eta$	$[\%]$	součinitel časového využití linky
$\lambda_s$	$[^{\circ}]$	nástrojový úhel sklonu ostří
$\lambda_t$	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$	tepelná vodivost
$\pi$	$[-]$	konstanta
$\rho$	$[kg.m^{-3}]$	hustota
$\chi_r$	$[^{\circ}]$	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
$\chi_r'$	$[^{\circ}]$	nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří
$A_{50}$	$[\%]$	tažnost
AC	$[-]$	adaptivní řízení
AK	$[-]$	aktivní kontrola
AVC	$[-]$	aktivní kontrola vibrací
AVS	$[-]$	automatizované výrobní soustavy
$a_e$	$[mm]$	šířka frézované plochy
$a_p$	$[mm]$	šířka záběru ostří
$C_p$	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
$c$	$[mm]$	bezpečnostní přeběh
$D_{PO}$	$[dny]$	počet dní plánovaných odstávek provozu
$D_R$	$[dny]$	celkový počet dní v roce
$D_s$	$[mm]$	průměr frézy
$D$	$[mm]$	výchozí obráběný průměr
$d$	$[mm]$	konečný obráběný průměr
$E_s$	$[dny]$	efektivní časový fond strojního pracoviště
$f$	$[mm]$	posuv
$f_z$	$[mm]$	posuv na zub

HB	[-]	tvrdost
ISS	[-]	inteligentní bezpečnostní štít
ITS	[-]	inteligentní teplotní štít
L	[mm]	celková délka nástroje
$l_n$	[mm]	délka náběhu
$l_p$	[mm]	délka přeběhu
$l$	[mm]	délka soustružené plochy
MVA	[-]	hlasový poradce Mazak
$N_{SM}$	[ks.směna <sup>-1</sup> ]	počet pístů za směnu
$N_z$	[ks.rok <sup>-1</sup> ]	zákazníkem požadované množství pístů
$N$	[ks.rok <sup>-1</sup> ]	počet pístů za rok
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky obrobku
$O_{PLaN}$	[%]	počet dní v roce pro plánované opravy a údržby a neplánované odstávky z celkového počtu dní
PKD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	polykrystalický nitrid boru
PVS	[-]	pružné výrobní systémy
$p_{SM}$	[-]	počet směn v roce
$q$	[%]	přípustná mez neshodné výroby
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
$s_s$	[-]	směnnost strojního pracoviště
$r_\epsilon$	[mm]	poloměr špičky
TAL	[-]	tvrdé automatické linky
$t_{AS}$	[min]	jednotkový strojní čas
$t$	[s]	takt výrobní linky
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
$z$	[-]	počet zubů frézy

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1

Layout navrhované výrobní linky.